Das populäre Magazin für Astronomie und Raumfahrt

Spektrum DER WISSENSCHAFT

ASTRONOMIE HEUTE

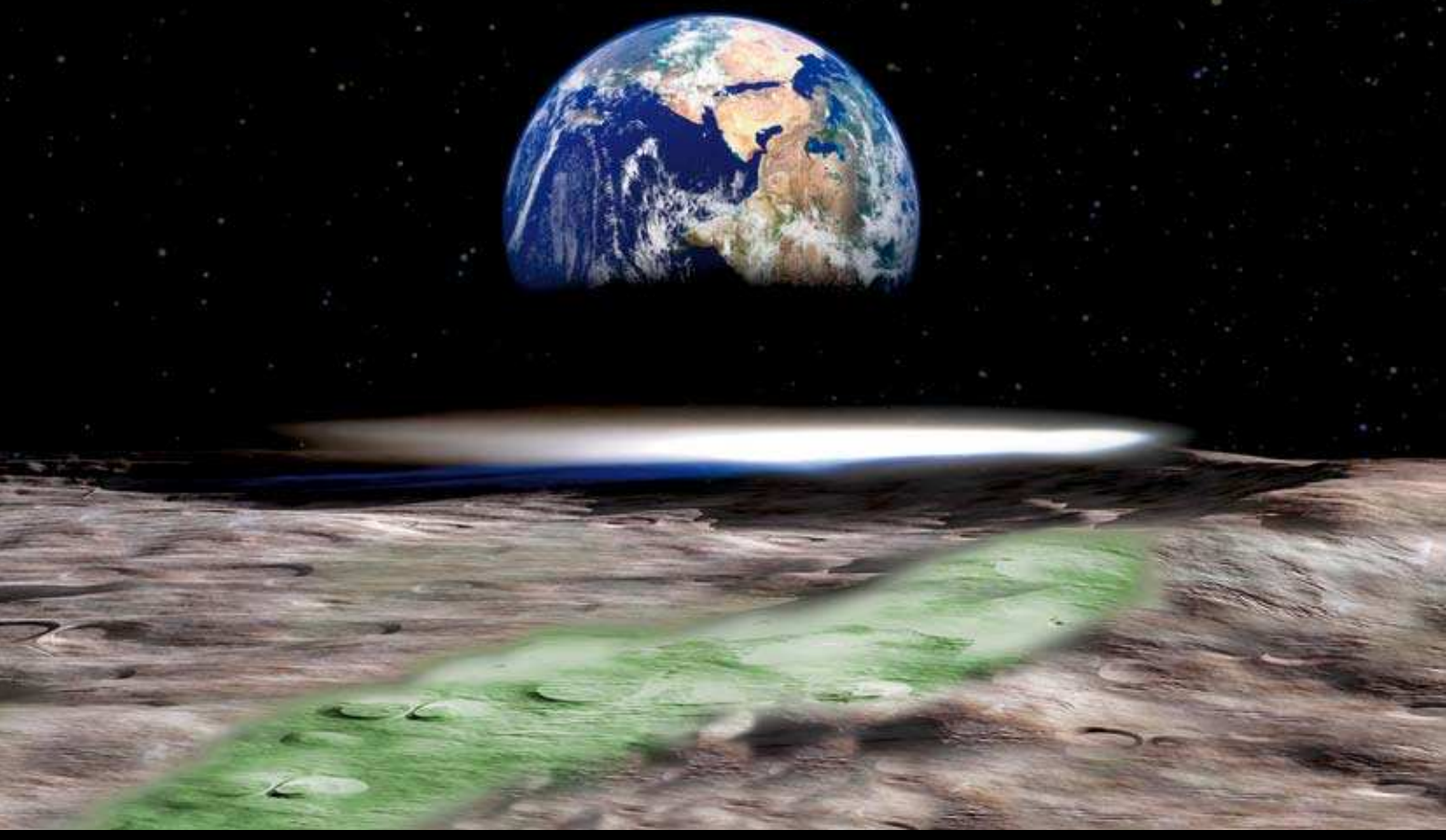
SKY & TELESCOPE DEUTSCHE AUSGABE

WWW.ASTRONOMIE-HEUTE.DE

Juni
6 / 2007
€ 6,50 / sFr 12,50

Auswanderer

Haben irdische Lebewesen bereits andere Himmelskörper besiedelt?



Marathon-Sonden

Seit dreißig Jahren erkunden Voyager 1 und 2 das Sonnensystem

Himmel über Arizona

AH-Leser Ulrich Beinert ging im »Cactus State« auf Sternenjagd

60463

4 196046 306506 06

Oliver Dreissigacker
Redaktionsleiter

Gleich mehrfach Grund zum Feiern

Liebe Leserinnen und Leser, ASTRONOMIE HEUTE feiert mit dieser Ausgabe einen »runden Geburtstag«, denn es ist die Nummer 40! Seit Erscheinen des ersten Hefts im Februar 2003 haben wir unentwegt an der Verbesserung des Magazins gearbeitet, nicht zuletzt auf Grund Ihrer wertvollen Rückmeldungen. Herzlichen Dank an dieser Stelle an all jene, die schon einmal einen Fragebogen von uns ausfüllten!

Auch jetzt wollen wir wieder etwas von Ihnen wissen, nämlich: Welches der Titelbilder des letzten Jahres hat Ihnen am besten gefallen? Wenn Sie uns diese Frage auf unserer Webseite beantworten, haben Sie die Chance, wertvolle Preise zu gewinnen. Lesen Sie mehr dazu auf S. 79!

Unser Anliegen ist, Sie stets mit aktuellen Themen zu versorgen. Dafür müssen wir manchmal kurzfristig Platz schaffen, indem wir zeitlose Artikel auf eine spätere Ausgabe verschieben. So geschehen mit dem angekündigten Beitrag über Barlow-Linsen, den wir bei nächster Gelegenheit bringen werden!

Den zweiten Grund zum Feiern gab es am 12. April, anlässlich des ersten Raumflugs von Juri Gagarin vor 46 Jahren (AH September 2006, S. 18). Zum ersten Mal fand »Yuri's Space Night« auch auf deutschem Boden statt, nämlich in Stuttgart. Mehr als hundert Interessierte fanden sich zusammen, um sich von der Esa, dem Institut für Raumfahrttechnik und ASTRONOMIE HEUTE bei chilliger Musik in der »skybar« über das Gestern – Heute – Morgen der Raumfahrt zu informieren. Unser Reporter Robert Vogel berichtet auf S. 14.

Aller guten Dinge sind drei! Seit Freitag, dem 13. April, ist der Blog von Vanessa Gstettenbauer und Nadine Trautner online. Die beiden Schülerinnen aus Baden-Württemberg nehmen an der Junior-Astronautenausbildung des Space Education Instituts in Leipzig teil. Für sie ist der Termin ein Glückstag: Als erste Deutsche überhaupt starteten sie beim Großen Mondbuggy-Rennen der Nasa – und errangen in zwei Kategorien den 1. Platz. Lesen Sie die ganze Story unter astronomie-heute.de/spacepass!

Herzlichst Ihr

So fing alles an –
AH Nr. 1 März/April 2003

NIGHT SKY, CHUCK BAKER

Zeitlos: Der Artikel über Barlow-Linsen kommt in einem späteren Heft.

SEI (SPACEPASS.DE)

Die Astronautenschülerinnen trafen »Mr. Nasa« Jesco von Puttkamer in Huntsville, Alabama.

INHALT

WISSEN

Astro News 10
Weltraumparty in Stuttgart, Planeten mit zwei Sonnen, u. v. m.

Standpunkt 16
Über die private Raumfahrt in Europa

▶ **30 Jahre und kein Ende** 20
Die Raumsonden Voyager 1 und 2 erkundeten die großen Gasplaneten des Sonnensystems

Mysteriöse Spektren 28
Woher bekommen manche kosmischen Objekte ihre charakteristischen Spektrallinien?

▶ **Bakterien im All** 36
Irdische Mikroben können im Weltraum überleben. Haben sie bereits andere Welten besiedelt?

BEOBACHTUNG

Sterntafel 44
Der mitternächtliche Himmel in der Übersicht

Planetarium 46
Dieser Monat bietet eine Planetenparade und einen »blauen Mond«

Schauplatz Mond 48
Am Rand des Erdtrabanten verbergen sich rätselhafte Krater

Feldstechertipp 50
M13: kugelrunder galaktischer Wandersmann

SZENE

▶ **Unterwegs** 52
AH-Leser Ulrich Beinert nahm sich während seiner Pilotenausbildung die Zeit, um den Sternhimmel über der Wüste Arizonas zu genießen

Kippenhahns Sternstunde 56
Quasare – vor etwa fünfzig Jahren entdeckten die Astronomen diese mysteriösen Radioquellen. Schon bald wurde klar: Es konnte sich nicht um Sterne handeln …

Nachgeschaut 58
Blue Moon – was der zweite Vollmond eines Monats und der Elvis-Song gemeinsam haben

Die auf der Titelseite angekündigten Themen sind mit ▲ gekennzeichnet

20

wis
wissenschaft in die schulen!

Unermüdliche Forscher

Voyager 1 und 2 sammeln noch heute Daten am Rand unseres Planetensystems

TITEL

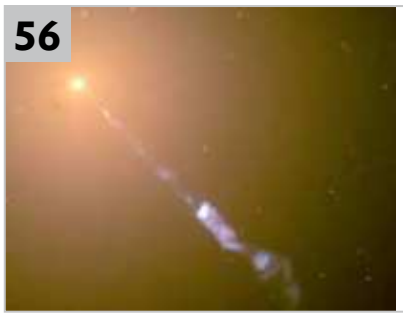
36

Irdische Bakterien sind auf anderen Himmelskörpern gelandet – das steht hundertprozentig fest. Haben sie dort auch überlebt?

28

Detektivarbeit

Astrophysiker und Theoretiker versuchen gemeinsam, mysteriöse Strahlungsspektren zu enträtseln. Unter ihnen: Vasili Kharchenko, Alex Dalgarno und Kate Kirby



56

Leuchttürme im Kosmos

Von manchen Galaxien gehen unvorstellbar scharf gebündelte Teilchenstrahlen aus, die tausende Lichtjahre ins All reichen. Lange war nicht bekannt, welcher Mechanismus dahintersteckt

52

ULRICH BEINERT

Der Himmel über Arizona Der US-Bundesstaat fasziniert jeden Besucher, auch wenn die Sterne mal nicht zu sehen sind

60

Neun Zentimeter Öffnung

Der »Megrez 90« ist ein neues Linsenfernrohr von William Optics. Wir testeten ihn auf Herz und Nieren

72

Lichter der Großstadt

Selbst in Metropolen lassen sich beeindruckende Astrofotos aufnehmen – wir zeigen wie

TIPPS

Testreport 60
Ist der »Megrez 90« von William Optics besser als herkömmliche 80-Millimeter-Fernrohre?

Glanzlichter 66
Deep-Sky-Aufnahmen und ein Himmel in Flammen

Hochglanz 70
Entfliehen Sie der Lichtverschmutzung

Astrofotografie 72
So gelingen Ihnen in hellen Städten beeindruckende Himmelsaufnahmen

Bücher 76
Raumfahrt für Kinder, Jupiter und Saturn, kurfürstliche Astronomie

TV & Events 78
Fernsehtipps und Veranstaltungshinweise

Editorial 3 • Leserbriefe 8 • Leser fragen – Experten antworten 9 • Umfrage mit Gewinnspiel 79 • Kleinanzeigen 80 • Astromarkt 81 • Vorschau / Impressum 82

Titelbild: Mikroben von der Erde könnten andere Himmelskörper besiedelt und dort extraterrestrische Lebensgemeinschaften gebildet haben (grüner Streifen)

Titelmotiv: Bearbeitung: AH, Marc Grove, Originalfotos: Nasa; unten links: Nasa, JPL; unten rechts: Ulrich C. Beinert

Geschwister der Milchstraße

Der neue Bildband aus der Reihe »Astronomie für Alle« zeigt von Amateurastronomen mit Amateurteleskopen aufgenommene Fotos. Sternfreunde können heute bereits mit einem Zwanzig-Zentimeter-Fernrohr die Entdeckungen Edwin Hubbles mit seinem 2,5-Meter-Spiegelteleskop nachvollziehen. Viele Galaxienbilder präsentiert dieser Band erstmalig in Farbe und zeigt mehr als die sonst üblichen Schwarz-Weiß-Aufnahmen. Jetzt am Kiosk!
spektrumverlag.de/artikel/868082

ONLINE

spektrumdirekt
Die Wissenschaftszeitung im Internet

Braune Zwerge

Fehlt es einem neugeborenen Himmelskörper an Masse, so wartet auf ihn höchstens eine Karriere als Brauner Zwerg: eine schummrige Existenz zwischen zu kleiner Sonne und zu großem Planet
spektrumdirekt.de/braunezwerge

Logbuch einer Saturnmission

Die Raumsonde Cassini liefert Neuigkeiten in Hülle und Fülle vom Herrn der Ringe und seinen Monden. Wir halten Sie über die kleinen und großen Entdeckungen am Saturn auf dem Laufenden
spektrumdirekt.de/cassini

Steine aus dem All

Eine gewaltige Kollision im Asteroidengürtel vor 470 Millionen Jahren erzeugte einen riesigen Schwarm von Trümmern, die bis ins innere Sonnensystem vordrangen und die Erde trafen. Selbst heute lässt sich noch jeder dritte Meteorit auf dieses Ereignis zurückführen. Mehr zum Thema in Sterne und Weltraum 6/2007
suw-online.de

Hatte das Universum einen Anfang?

Mit neuen Modellen wagen Theoretiker Aussagen über die Zeit vor dem Urknall. Der Ursprung des Universums wird so zum Prüfstein der Quantengravitation. Lesen Sie mehr dazu in der Juni-Ausgabe von Spektrum der Wissenschaft
spektrum.de

Kosmopod

Das Neueste aus den Redaktionen von ASTRONOMIE HEUTE und Sterne und Weltraum finden Sie wie immer als MP3-Datei zum Herunterladen unter kosmopod.de

FOTOSTUDIO MICHAEL KNABE

And the Winner is: Team Germany

Gleich zwei erste Preise hat das deutsche Team beim jährlichen Moonbuggy Race der Nasa in Huntsville, Alabama, »abgeräumt«. Als Schnellste unter den Erstteilnehmern und für das Design ihres Mondrovers erhielten Thommy Knabe, Vanessa Gstettenbauer, Nadine Trautner und Stefan Martini (v.l.n.r.) die begehrten Auszeichnungen. Die AH-Redaktion gratuliert! Lesen Sie mehr unter: astronomie-heute.de/spacepass

Milchstraßenzentrum

Zu welchem Zeitpunkt (Jahreszeit) befindet sich die Erde, von der Sonne aus gesehen, dem Zentrum unserer Galaxie am nächsten?

Rudolf Kühnl, München

Antwort der Redaktion:
Die Sonne hat am 18. Juni mit etwas weniger als 5,5 Grad die geringste Entfernung vom galaktischen Antizentrum. Dementsprechend hat die Erde – von der Sonne aus gesehen – den geringsten Abstand zum galaktischen Zentrum. Am selben Tag steht das Milchstraßenzentrum um Mitternacht (ein Uhr Sommerzeit) im Süden.

Internationale Marsmission

Ein gemeinsames Marsprojekt wäre kostengünstiger und die Erfahrung von Wissenschaftlern mehrerer Staaten könnte in eine Mission fließen – vergleichbar der ISS. Was hindert die Staaten eigentlich daran, nicht erst auf dem Flug zum Mond mehr Erfahrungen zu sammeln?

Klaus Deistung, Wismar

Antwort der Redaktion:
Internationale Großprojekte bergen immer die Gefahr, dass sich die Mitglieder über Zuständigkeiten und vor allem über die Finanzierung streiten. Da können sich einzelne Kooperationspartner schon einmal mehr oder weniger benachteiligt fühlen.

Offenbar halten die Supermächte – insbesondere die Amerikaner – es für besser, in der Raumfahrt (und nicht nur dort) künftig wieder stärker auf Alleingänge zu setzen. Das wiederum veranlasst die anderen, ihrerseits mit nationalen Pro-jekten nachzuziehen. Bei den Russen spielt sicherlich auch das Bedürfnis eine Rolle, künftig wieder ein stärkeres geopolitisches Gewicht zu erlangen.

Nichtsdestoweniger wollen alle erst einmal zum Mond – und zwar in nächster Zukunft. Gerade jüngst haben die Deutschen vorgeschlagen, eine eigene Mondmission zu entwickeln, um neben ihren erheblichen Budgetaufwendungen für die Esa auch wieder einen nationalen Akzent zu setzen. Der Mars liegt, damit verglichen, noch in weiter Ferne.

Das älteste Licht

»Woher kam alles?«, AH 4/2007, S. 16

Nach der Trichterdarstellung auf S. 18 sind wir 13,7 Milliarden Jahre vom Urknall »entfernt« und erhalten Lichtsignale mindestens aus dem Bereich »Erste Galaxien«. Waren wir denn schneller als das Licht, haben wir es überholt?

Camilla Buchwald, per E-Mail

Antwort der Redaktion:
Dass wir heute das Licht von Vertretern der ersten Galaxiengeneration sehen können, liegt nicht daran, dass wir schneller als das Licht waren. Es ist vielmehr anders herum: Alle Orte im Weltall streben auf Grund der kosmischen Expansion auseinander, und das Licht dieser ersten Galaxien ist jenem Ort hinterhergeeilt, an dem wir uns heute befinden. Nach Jahrmilliarden währender Reise hat es uns nun endlich eingeholt.

Stellen Sie sich zwei Galaxien vor, die sich immer weiter voneinander entfernen (und zwar langsamer als mit Lichtgeschwindigkeit). Die eine Galaxie sendet ein Lichtsignal aus, das sich in alle Raumrichtungen ausbreitet . Da sie sich aber von der anderen Galaxie entfernt, muss das Licht der zweiten Galaxie nacheilen. Erst nach einer gewissen Zeit ist es bei ihr angekommen.

Die Zeit, die das Lichtsignal dafür benötig, hängt von der Entfernung der Galaxien ab: Je größer diese Distanz ist, umso länger braucht das Licht, um die zweite Galaxie zu erreichen. Bei einem sehr großen Galaxienabstand können es viele Milliarden Jahre sein.

Da sich die Information, die das Licht transportiert, auf dem Weg nicht ändert, sieht die zweite Galaxie die erste so, wie diese im Moment der Signalaussendung aussah. Das älteste Licht, das wir heute sehen, war also erstens sehr lange unterwegs und es stammt zweitens von sehr weit entfernten Objekten.

Errata

»Saturn im Rampenlicht«
AH 4/2007, S. 50

Im Artikel wird die Entfernung des Saturns zur Erde mit fast 1300 Milliarden Kilometern angegeben. Bei einer durchschnittlichen Entfernung von zirka 8,3 Astronomischen Einheiten sind das aber »nur« fast 1300 Millionen Kilometer!

Hier handelt es sich wohl um eine Ungenauigkeit bei der Übersetzung: Eine Billion ist im amerikanischen Sprachraum eine eins mit neun Nullen, bei uns aber eine eins mit zwölf Nullen, also eine Milliarde!

Erlebte die Raumfahrt nicht schon einmal ein teures Desaster, weil die Maßeinheiten nicht übereinstimmten?

Ernst-Jürgen Stracke, per E-Mail

»Als Zeulenroda unterging«, von Rudolf Kippenhahn, AH 4/2007, S. 60

Ich danke für Ihre Sternstunden. Aber wie groß ist Apophis denn nun? Beträgt sein Durchmesser 320 Kilometer oder 320 Meter?

Friedrich Ischebeck, per E-Mail

Antwort der Redaktion:
Apophis hat einen Durchmesser von etwa 300 Metern. Die Vorsilbe »Kilo« ist offensichtlich allen Beteiligten durch die Lappen gegangen.

Weitere Einsendungen finden Sie auf unserer Homepage!

Sie können Ihre Leserbriefe im Internet unter www.astronomie-heute.de in ein Formular direkt unter dem jeweiligen Artikel eintragen. Diesen erreichen Sie über die Menüeinträge »Aktuelle Ausgabe« (Inhaltsverzeichnis), »Archiv« (Heftverzeichnis) oder durch Anklicken des Covers der Ausgabe.

Falls Sie Anregungen haben, können Sie diese unter www.astronomie-heute.de/leserbriefe eingeben. Oder Sie schreiben wie bisher per Post, Fax oder E-Mail an:

ASTRONOMIE HEUTE
Postfach 10 48 40
69038 Heidelberg
Fax: 06221 9126-769
E-Mail: redaktion@astronomie-heute.de

Wir behalten uns vor, Leserbriefe gekürzt zu veröffentlichen.

EXPERTENFRAGE

»Leser fragen – Experten antworten«

In etablierten kosmologischen Modellen wird oft von einer inflationären Phase gesprochen, in der das Universum mit Überlichtgeschwindigkeit expandiert sein soll. Wie verträgt sich das mit der Relativitätstheorie? Andreas Frey, Ginsheim

Für Objekte, die sich in der Raumzeit bewegen, ist die Lichtgeschwindigkeit das absolute Tempolimit. Das ist die grundlegende Annahme der Speziellen Relativitätstheorie von Albert Einstein (1905). Später entwickelte er seine Theorie zur Allgemeinen Relativitätstheorie (1916), mit der der Kosmos als Ganzes beschrieben werden kann. In dieser Theorie ist die Lichtgeschwindigkeit nur lokal eine Geschwindigkeitsgrenze. Die beobachtete Expansion des Universums wird mit der Expansion der Raumzeit selbst erklärt.

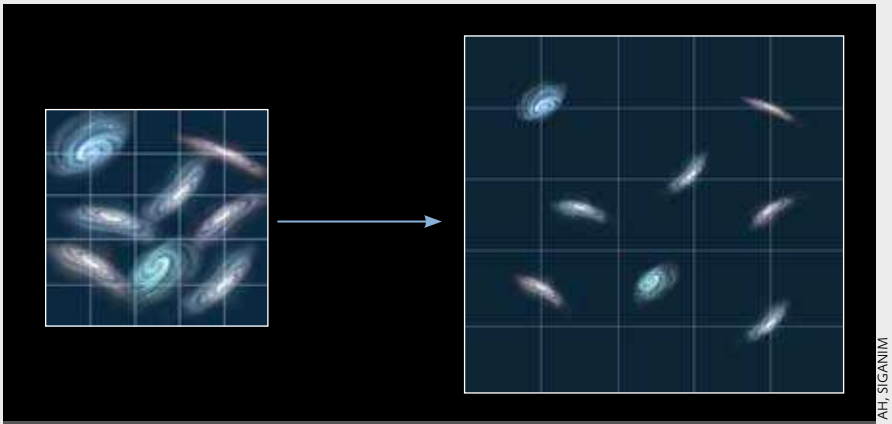
Die Raumzeitausdehnung ist keine Bewegung im normalen Sinn. Die Allgemeine Relativitätstheorie setzt der Expansion der Raumzeit kein Limit. Zur Veranschaulichung betrachten wir einen Luftballon, der aufgeblasen wird: Alle Punkte auf dem Ballon sind in Ruhe, dennoch entfernen sie sich voneinander.

Jetzt lassen wir eine Ameise, die nur mit einer bestimmten Höchstgeschwindigkeit laufen kann, auf dem Ballon krabbeln. Wenn nun genug Luft in den Ballon geblasen wird, können sich zwei ruhende Punkte auf dem Luftballon schneller als mit »Ameisenhöchtsgeschwindigkeit« voneinander wegbewegen.

Diese Raumausdehnungsgeschwindigkeit ist eher akademischer Natur. Sie kann weder direkt in einer expandierenden Raumzeit gemessen werden, noch kann man eine überlichtschnelle Raumausdehnungsgeschwindigkeit irgendwie praktisch ausnutzen. Die Lichtgeschwindigkeit bleibt ein absolutes Tempolimit: Egal wie schnell der Ballon aufgeblasen wird, die Ameise kann ihre Maximalgeschwindigkeit nicht überschreiten.

Die Inflation ist eine wichtige Zutat zum Standardmodell des Urknalls (AH 1-2/2006, S. 24). In der inflationären Phase am Anfang des Universums hat sich das All um ein Vielfaches stärker ausgedehnt als heute. Punkte in der Raumzeit, die dicht beieinander lagen, entfernten sich schneller voneinander als mit Lichtgeschwindigkeit. Daher wird oft gesagt, dass das Universum sich mit Überlichtgeschwindigkeit ausdehnte. Diese überlichtschnelle Raumausdehnungsgeschwindigkeit ist wie oben dargelegt kein Widerspruch zur Relativitätstheorie. **>> Christian Tapken**

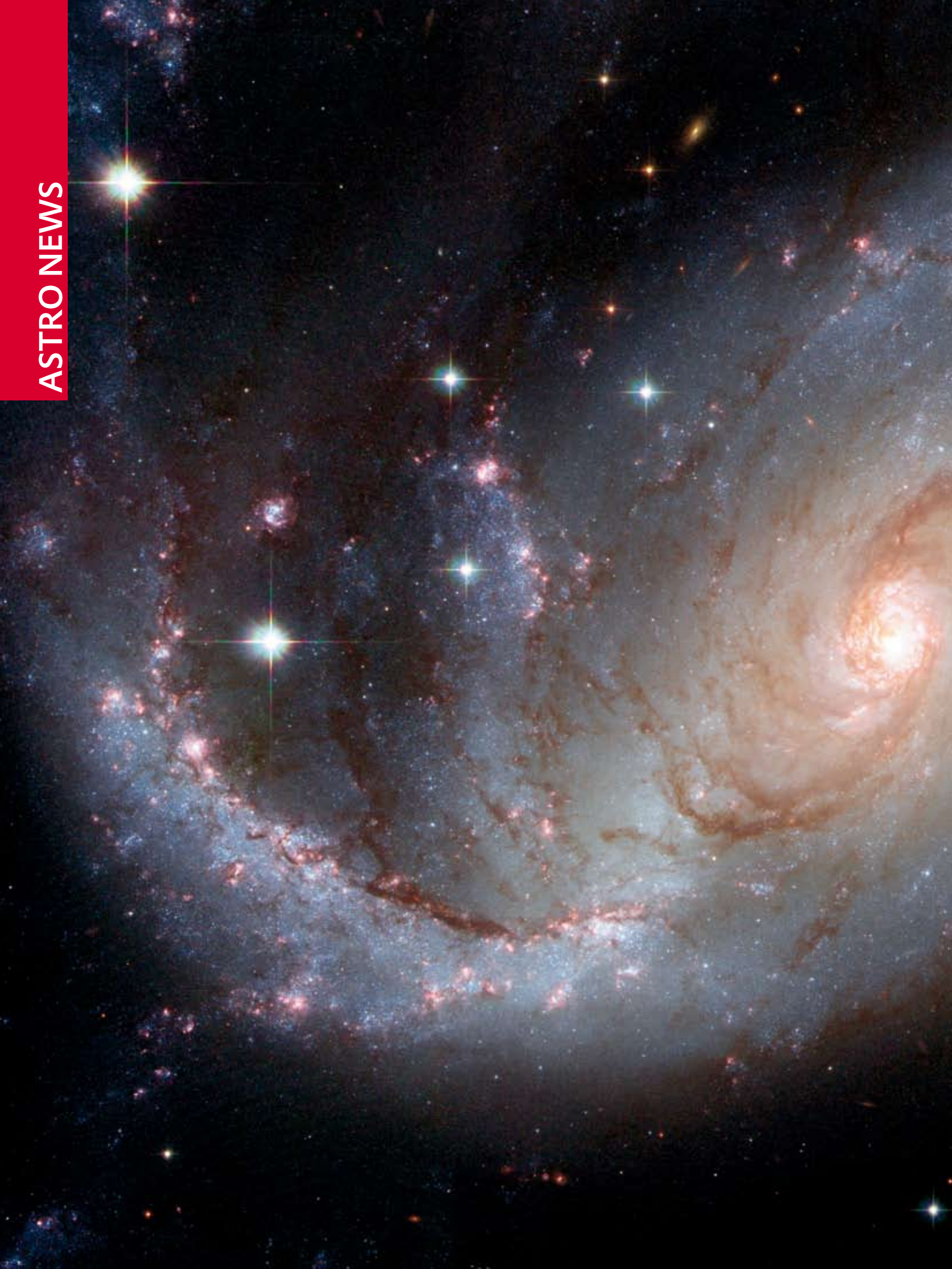
Der Autor erforscht Galaxien am Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg.



AH, SIGANIM

Durch die Expansion des Raums ist Überlichtgeschwindigkeit möglich.

Senden Sie uns Ihre Fragen zu Astronomie und Raumfahrt! Wir bitten Experten um Antwort und stellen die interessantesten Beiträge vor.



HUBBLE-AUFNAHME

Kosmische Zierde

Wie ein fantastisches Ornament präsentiert sich die Galaxie NGC 1672 auf dieser Aufnahme des Weltraumteleskops Hubble. Sie unterscheidet sich von Spiralgalaxien dadurch, dass ihre Arme nicht von ihrem Zentrum ausgehen, sondern von den Enden eines Balkens, der ihren Kern umschließt. Daher gehört sie zu den Balkenspiralen.

NGC 1672 liegt mehr als sechzig Millionen Lichtjahre von der Erde entfernt im Sternbild Schwertfisch am Südhimmel. Sehr schön sind auf dieser Aufnahme die dunklen Staubbänder zu erkennen, die, vom Balken ausgehend, den inneren Rändern der Spiralarme folgen. Innerhalb der Arme befinden sich Ansammlungen von jungen blauen Sternen, deren Strahlung das umgebende Wasserstoffgas ionisiert, sodass es rot glüht. Grazile Staubschleier dämpfen das Licht dahinterliegender Sonnen und bewirken, dass dieses rötlicher scheint, als es eigentlich ist.

Andere Sterninseln, die von uns aus gesehen weit hinter der Galaxie liegen, schimmern durch die galaktische Scheibe von NGC 1672 hindurch und erwecken den Eindruck, als wären sie in diese eingebettet. Auch ihr Licht passiert auf dem Weg zu uns viele Staubschwaden und wirkt dadurch gerötet. Einige helle Vordergrundsterne, die zur Milchstraße gehören, zeigen sich auf dem Bild als gleißende, diamantförmige Gebilde. <<

NASA / ESA

STERNSYSTEME

Tatooine und seine Doppelsonne

LUCASFILM LTD & TM (AUS: KRIEG DER STERNE, 1977, ORIGINALTITEL: STAR WARS, EPISODE IV)

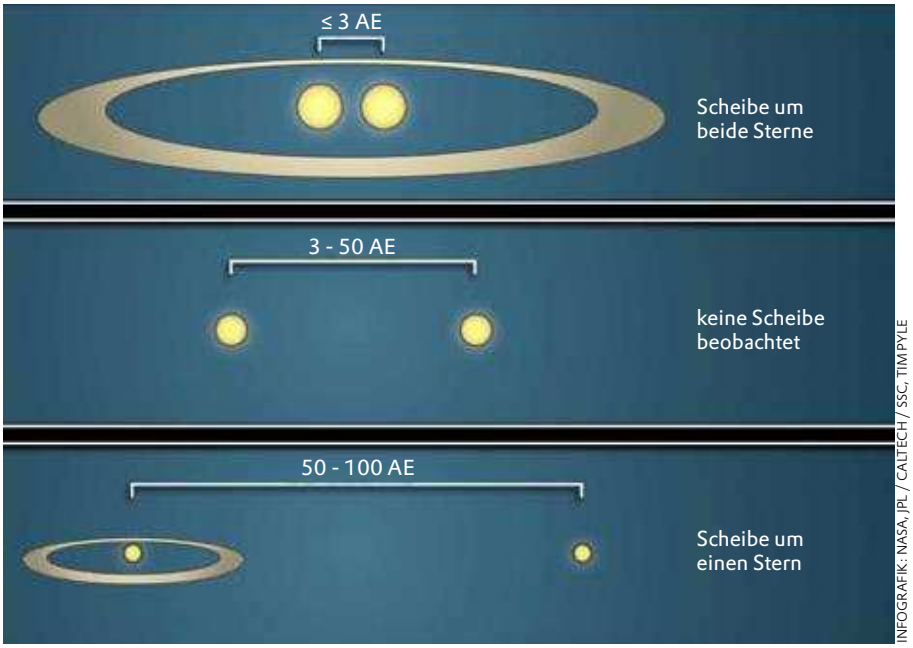
In »Star Wars – Episode IV« (von 1977) flimmerten zwei Sonnen am Himmel des Planeten Tatooine. Das galt damals als reine Fiktion – zu Unrecht, wie sich jetzt zeigt.

Die Mehrheit aller Exoplaneten könnte in engen Doppelsternsystemen zu Hause sein. Das fanden US-Astronomen jetzt heraus.

Bislang war bekannt, dass etwa ein Viertel der rund zweihundert bekannten Exoplaneten in weiten Doppelsternsystemen beheimatet ist. In der Umgebung von engen Doppelsternen galten Planeten hingegen als unwahrscheinlich. Doch offenbar hat die Natur keine Probleme damit, auch dort planetare Himmelskörper hervorzubringen, wie der Astronom David Trilling von der University of Arizona (Tucson) und seine Forscherkollegen entdeckten.

Mit Hilfe des Infrarot-Weltraumteleskops Spitzer untersuchten die Wissenschaftler 69 Doppelsterne, die jünger und massereicher sind als unsere Sonne. In der Umgebung dieser Himmelskörper suchten die Forscher nach Staubscheiben, aus denen sich Planeten bilden könnten. Das Ergebnis: Ungefähr ein Drittel der beobachteten Duos wies eine solche Scheibe auf (siehe Animation unter astronomie-heute.de/astromovie). Noch mehr überraschte, dass die engen Doppelsterne dieses Merkmal besonders häufig besitzen. Zwei Drittel jener Sternpaare, deren Abstand voneinander höchstens drei Astronomische Einheiten (AE) betrug (eine Astronomische Einheit entspricht zirka 150 Millionen Kilometer), waren von Staubscheiben umgeben. Doppelsterne hingegen, die sich in Entfernungen zwischen drei und fünfzig AE umkreisten – fünfzig AE entsprechen der Distanz vom Asteroidengürtel bis knapp hinter die Plutobahn –, besaßen keine Staubscheiben.

Auf Grund der Ergebnisse muss die geschätzte Gesamtzahl der Planeten im Universum nach oben korrigiert werden. Denn die meisten Sonnen befinden sich in Mehrfach-Sternsystemen, die bisher im Verdacht standen, nur in Ausnahmefällen planetare Körper zu beherbergen. <<



INFOGRAFIK: NASA, JPL / CALTECH / SSC, TIM PYLE

Doppelsternsysteme bringen nur dann protoplanetare Staubscheiben hervor, wenn die beiden Sterne entweder sehr eng oder sehr weit umeinander kreisen.

FERNE WELTEN I

Wasser auf Exoplanet nachgewiesen

Eine neue Analyse hat gezeigt, dass die Atmosphäre des jupiterähnlichen Exoplaneten HD 209458b Wasserdampf enthält. Noch im Februar dieses Jahres hatten Astronomen berichtet, dass sie dort kein Wasser nachweisen konnten (siehe AH 5/2007, S. 12).

Travis Barman vom Lowell Observatory in Arizona untersuchte, wie sich die Wärmestrahlung des Sterns HD 209458 verändert, wenn sie durch die Gashülle seines planetaren Begleiters HD 209458b tritt. Dabei griff Barman auf ältere Messdaten vom Weltraumteleskop Hubble zurück. Je nach Zusammensetzung der planetaren Atmosphäre sollte das Licht, das durch sie hindurchläuft, in einer bestimmten Weise abgeschwächt werden.

Barman entwickelte theoretische Modelle, die diesen Vorgang beschreiben, und versuchte sie mit den Messdaten in Einklang zu bringen. Dabei kam er den Wassermolekülen auf die Spur. Die Moleküle verrieten sich, weil sie bestimmte Wellenlängen absorbieren, die dann im Spektrum der Wärmestrahlung fehlen.

Der Effekt, so der Astronom, sei bislang nicht aufgefallen, da das bisher untersuchte Licht aus Teilen der Planetenatmosphäre stammte, die direkt vor dem Zentralstern lagen. Deshalb könnte sich der Wasserdampf dort enorm erhitzt und weniger Strahlung absorbiert haben. Das von Barman untersuchte Licht hätte die Planetenatmosphäre hingegen an der Tag-Nacht-Grenze durchquert, wo das Gas kühler ist. <<

FERNE WELTEN II

Erster bewohnbarer Planet gefunden

Astronomen haben einen Exoplaneten entdeckt, der unserer Erde verblüffend ähnelt. Sein Durchmesser ist anderthalbmal so groß wie jener der Erde, damit ist er der kleinste bekannte Planet außerhalb des Sonnensystems. Seine Oberflächentemperaturen liegen schätzungsweise zwischen null und vierzig Grad Celsius. Vermutlich – so die Forscher – befindet sich auf ihm flüssiges Wasser, vielleicht sogar ein Ozean.

Die Wissenschaftler um Stéphane Udry vom Observatoire de Génève (Schweiz) machten ihre Entdeckung mit dem 3,6-Meter-Teleskop der Europäischen Südsternwarte auf La Silla in Chile. Der Exoplanet besitzt die fünffache Masse der Erde und umkreist den Stern Gliese 581, einen 20,5 Lichtjahre entfernten Roten Zwerg im Sternbild Waage. Gliese 581 umrunden noch zwei weitere Planeten mit 15 beziehungsweise 8 Erdmassen.

Der neu entdeckte Trabant befindet sich vierzehnmal näher an seinem Zentralstern als die Erde an der Sonne. Trotzdem herrschen auf seiner Oberfläche keine besonders hohen Temperaturen. Denn Gliese 581 ist wesentlich kleiner und kühler als unsere Sonne und sendet weniger Strahlung aus als sie. <<

ILLUSTRATION: ESO

Die Schwester-Erde (vorn) kreist in einem Dreier-Planetensystem um Gliese 581.

Der Teleskopkauf-Ratgeber

einzigartig: die umfangreiche tabellarische Übersicht von mehr als 500 auf dem deutschen Markt erhältlichen Teleskopmodellen!

Kein Frust mehr beim Teleskopkauf!

Mit *Fernrohrwahl* liegt erstmals in deutscher Sprache ein Ratgeber für den Kauf des ersten astronomischen Teleskops vor:

- Vorstellung der einzelnen Fernrohrtypen mit ihren Vor- und Nachteilen
- Besprechung von sinnvollen Auswahlkriterien
- Vorstellung von nützlichem Zubehör
- Erläuterungen wie man die Qualität eines Fernrohrs schnell beurteilt
- ausführliche Besprechung der 20 beliebtesten Einsteigergeräte

160 Seiten, 110 Grafiken und Fotos, 29 Tabellen, Softcover, 21cm × 15cm, durchgehend farbig, ISBN 978-3-938469-11-8

nur 17,90 Euro

Oculum-Verlag GmbH, Westl. Stadtmauerstr. 30a, D-91054 Erlangen • bestellung@oculum.de
Tel.: 09131/970694 • Fax: 09131/978596

OCULUM

ASTROSZENE

Juris Nacht: Eine Weltraumparty in Stuttgart

LOGO: WWW.YURISNIGHT.NET; FOTO: ROBERT VOGEL

Sehen und gesehen werden Auf der »Yuri's Night« (links das offizielle Symbol) konnte man Raumfahrtexponate bestaunen, Vorträge hören und durchs Teleskop schauen. Oder einfach nur trinken und schwatzen.

Als Juri Gagarin am 12. April 1961 als erster Mensch in den Weltraum flog, brach ein neues Zeitalter an – das Zeitalter der bemannten Raumfahrt. In Russland wird dieses Datum alljährlich gefeiert, denn dort gilt Gagarin als Nationalheld (siehe AH 9/2006, S. 18).

Vor einigen Jahren hatten George Whitesides, Direktor der US-Weltraumorganisation »National Space Society« (NSS), und seine Frau Loretta die Idee, den 12. April zu einem internationalen Festtag zu machen. Menschen auf der ganzen Welt, die von der Erforschung des Alls fasziniert sind, sollten an diesem Datum gemeinsam feiern. 2001 kam es dann erstmals dazu: Raumfahrtenthusiasten trafen sich am 12. April zu »Yuri's Night« und veranstalteten fröhliche Partys. Seither wird das Ereignis alljährlich rund um den Globus zelebriert – im letzten Jahr auf über neunzig Veranstaltungen in mehr als dreißig Ländern!

Nun hat die Idee auch auf Deutschland übergegriffen. Am Nachmittag des 12. April verwandelte sich die »Sky Bar« auf dem Dach des Stuttgarter Karstadt-Parkhauses zum Raumfahrtsinformationszentrum. Die Kunden staunten nicht schlecht! Über hundert Weltraumbegeisterte kamen bei schönstem Frühlingswetter zusammen, um sich die Sonne durchs Teleskop anzuschauen. Später in der Dunkelheit richteten sich die Fernrohre auf Venus, Saturn, die Plejaden und andere interessante Himmelsobjekte.

Viele Besucher bewunderten die ausgestellten Modelle des Spaceshuttles und der Ariane-Trägerrakete, deckten sich mit Informationsmaterial der Europäischen Weltraumorganisation Esa ein, nahmen ASTRONOMIE HEUTE-Hefte mit oder studierten die Raumfahrtschautafeln der Uni Stuttgart. Bernhard von Weyhe, Pressebeauftragter der Esa, war eigens von Darmstadt angereist, um über die neuesten Esa-Aktivitäten zu berichten. Anschließend beantwortete er Fragen aus dem Publikum. Auf einer Projektionsfläche in der Bar liefen Filme und Animationen von der Esa.

Die Partygäste nutzten den Abend bei kühlen Drinks und sphärischen Klängen zum ausgiebigen Fachsimplen und zum Knüpfen neuer Bekanntschaften. Der Höhepunkt kam gegen 23 Uhr, als das Marketing-Unternehmen »Space Travellers« zwei Reisen zum Weltraumbahnhof Baikonur in Kasachstan verloste. Getanzt hat an diesem Abend zwar niemand, aber das tat dem Vergnügen keinen Abbruch.

Mit 126 weltweit registrierten Veranstaltungen war Yuri's Night 2007 die größte Weltraumparty, die es bisher gab. Die »Sky Bar« in Stuttgart wird auch nächstes Jahr wieder dabei sein. Nähere Informationen zu Yuri's Night finden Sie unter astronomie-heute.de/artikel/871355. <<

Robert Vogel ist langjähriger Raumfahrt- und Scienfictionexperte.

Verfinsterung erhellt die Forscher

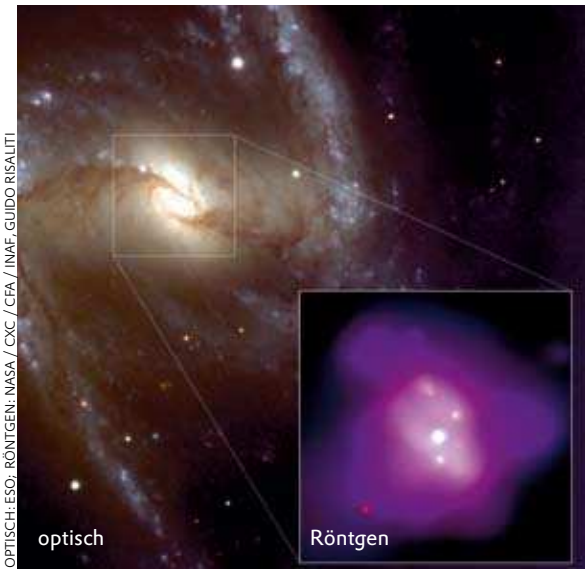
Mit Hilfe des Röntgenteleskops Chandra gelang es Astronomen erstmals, den Durchmesser einer Materiescheibe rings um ein supermassereiches Schwarzes Loch zu messen. Dabei nutzten sie aus, dass eine dichte Gaswolke vor den Kern der Galaxie NGC 1365 wanderte – eine Gelegenheit, die sich selten bietet. Die Wolke schirmte die energiereiche Röntgenstrahlung ab, die von der Scheibe ausgeht, und erlaubte so deren Vermessung.

Um das sechzig Millionen Lichtjahre entfernte Schwarze Loch im Zentrum von NGC 1365 hat sich eine rotierende Gasscheibe gebildet. Das Material darin wirbelt um das Loch, erhitzt sich immer stärker und sendet Strahlung aus, bis es schließlich in den Schlund stürzt. Die Gasscheibe ist allerdings so weit von uns entfernt, dass die Forscher sie mit irdischen Teleskopen nicht untersuchen können.

Martin Elvis, Guido Risaliti und ihre Kollegen vom Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics in Cambridge, Massachusetts beobachteten nun, wie eine Gaswolke vor den Kern der Galaxie NGC 1365 trat und ihn verhüllte. Aus der Dauer der Bedeckung errechneten sie, dass die Materiescheibe im galaktischen Zentrum etwa eine Milliarde Kilometer durchmisst und zehnmal größer ist als das Schwarze Loch. Dies passt gut zu früheren theoretischen Überlegungen.

Dabei haben die Forscher sogar solche Teile der Gasscheibe lokalisiert, die bereits in hundert Jahren in das Schwarze Loch stürzen werden. In kosmischen Maßstäben ist das ein sehr kurzer Zeitraum. Niemand habe bisher so dicht am Rand eines Schwarzen Lochs Materie beobachtet, freuen sich die Astronomen. Sie versuchten schon seit Jahren, die Größe der Scheibe zu ermitteln.

Die Gaswolke, die den Kern der Galaxie NGC 1365 verhüllte, befindet sich etwa neunzig Milliarden Kilometer von diesem entfernt. <<



OPTISCH: ESO; RÖNTGEN: NASA / CXC / CFA / INAF, GUIDO RISALITI

Die Galaxie NGC 1365 beherbergt eine starke Röntgenquelle – eine Gasscheibe, die um ein Schwarzes Loch wirbelt (siehe Animation unter astronomie-heute.de/astromovie).

wis
wissenschaft in die schulen!

Klaus Tschira Stiftung gGmbH, Landesakademie für Fortbildung und Personalentwicklung an Schulen, Max-Planck-Institut für Astronomie

ermöglichen durch ihre Kooperation die Entwicklung und Bereitstellung neuer praxisnaher Unterrichtsmaterialien für den Physikunterricht.

Ein erfahrener Mitarbeiter der Landesakademie entwickelt im Rahmen dieser Zusammenarbeit zu den Zeitschriften Sterne und Weltraum sowie Astronomie Heute passendes didaktisches Material. Der Praxistest erfolgt in den Lehrerfortbildungskursen der Landesakademie und in monatlichen Unterrichtsstunden an einer ausgewählten Stützpunktschule.

Sterne und Weltraum ist seit Herbst 2003 Partner der Aktion »Wissenschaft in die Schulen!«. Astronomie Heute ist Anfang 2006 dazugekommen. Diese Initiative des Spektrum der Wissenschaft Verlages bietet Schülern und Lehrern naturwissenschaftlicher Fächer kostenlos hochwertige didaktische Zusatzmaterialien für den Unterricht.

Weitere Informationen:
Wissenschaft in die Schulen!
www.wissenschaft-schulen.de
Klaus Tschira Stiftung gGmbH
www.kts.villa-bosch.de
Landesakademie für Fortbildung und Personalentwicklung an Schulen
www.akademie-donaueschingen.de
Max-Planck-Institut für Astronomie
www.mpia.de

Private Raumfahrt in Europa: Fehlanzeige

»In der Raumfahrt gibt es zwei bedeutende Probleme: Die Überwindung der Gravitation und die Bürokratie. Das Erstere halte ich für lösbar.« (Wernher von Braun)

>> Eugen Reichl

Vor Kurzem wandte sich die Europäische Weltraumorganisation Esa an die Industrie. Sie forderte die Unternehmen auf, Vorschläge für ein bemanntes Raumfahrzeug einzureichen, das im suborbitalen Weltraumtourismus eingesetzt werden kann. Als Belohnung winkten 150 000 Euro – diese Summe konnten bis zu drei Firmen jeweils erhalten, um ihre Pläne weiter auszuarbeiten. Die Firmen mussten dafür aber nicht nur einen Raumschiffentwurf vorlegen, sondern auch einen detaillierten Geschäftsplan für künftige weltraumtouristische Unternehmen.

Jetzt kann man sich fragen, ob Geschäftspläne hier überhaupt einen Sinn ergeben. Sie sind ein vernünftiges Werkzeug, wenn es um etablierte Industrien mit kalkulierbarer Zukunft geht, bei denen man die Rahmenbedingungen, die Wettbewerber und die Kundenanforderungen kennt. Wenn aber wie jetzt im Weltraumtourismus etwas vollkommen Neues geschaffen wird, dann ist jeder Geschäftsplan reine Fiktion.

In den USA gab es um das Jahr 1900 etwa 8000 so genannte automobile Fahrzeuge. Die meisten davon waren dampfbetrieben. Das war eine zuverlässige Technologie, die Hersteller hatten sie im Griff und die Kunden verstanden sie. Daneben gab es einige Elektromobile. Und schließlich noch ein paar merkwürdige Sonderkonstruktionen, die mit Benzinmotoren betrieben wurden. Der Treibstoff für diese Vehikel war ein so rares und teures Produkt, dass man ihn in der Apotheke in Hundert-Milliliter-Fläschchen kaufen musste. Doch gerade mal zehn Jahre später gab es praktisch keine anderen Fahrzeuge mehr als diese benzinbetriebenen »Exoten«.

Das ist ungefähr die Wegmarke, an der die private Raumfahrt heute steht. Wer ein komplett neues Produkt entwickelt, muss jede Vorhersage ignorieren. Es gibt viele konkurrierende Technologien und den Gewinner wird niemand anderes ermitteln als der Markt.

Aber wahrscheinlich sind derlei Überlegungen eher theoretisch, denn im Gegensatz zur äußerst regen amerikanischen Szene gibt es in Europa nur fünf oder sechs Unternehmen, die sich mit privater Raumfahrt beschäftigten. Die meisten davon sind reine »Powerpoint-Buden«, die noch keinerlei Teile gefertigt haben. Die einzigen, die bereits in begrenztem Umfang bauen und testen, sind die britische Firma Starchaser sowie die rumänische Aeronautics and Cosmonautics Romanian Association (Arca). Folgerichtig gewann am 12. Januar dieses Jahres der ernsthafteste Anwärter jener kleinen Gruppe, Starchaser, einen der drei möglichen Esa-Verträge über 150 000 Euro.

An der Stelle könnte man jetzt sagen: Na also, geht doch. Aber genau hier beginnt die typisch europäische Tragik. Denn Starchaser Industries muss – wie auch die anderen Weltraumunternehmen – gerade erkennen, dass private Raumfahrt in Europa überhaupt nicht betrieben werden kann, denn es existieren keine Regularien dafür.

Bevor in »Old Europe« der private Raumflug starten kann, müssen erst zahllose Fragen geklärt werden. Dazu gehören Probleme wie: Welche Institution ist zuständig für suborbitale und orbitale Flüge, bei denen Personen von Privatunternehmen in den Weltraum befördert werden? Wer vergibt Flug- und Testgenehmigungen und nach welchen Bestimmungen? Welches Regelwerk lässt Testflüge mit bemannten Raketen zu? Wo ist der Umfang solcher Flüge definiert? Wie sieht es mit der Haftung aus?

In den USA wurden diese Fragen in wenigen Monaten von der zuständigen Behörde, der »Federal Aviation Administration« (FAA), abgearbeitet. Grundlage war der »Commercial Space Launch Amendment Act«, den das amerikanische Repräsentantenhaus im Jahr 2004 verabschiedete. Gleichzeitig beschlossen die Amerikaner, dass in den nächsten acht Jahren einige von den Vorschriften noch nicht gelten. Sie sollen erst dann in Kraft treten, wenn genügend Erfahrungen vorliegen, sodass man sie vernünftig anwenden kann. Dies betrifft vor allem die sicherheitsrelevanten Bestimmungen. >

Um 1900 waren Benzinfahrzeuge eine Randgruppe unter den Autos. Zehn Jahre später gab es praktisch nur noch sie

Falcon-1 ist die erste private Trägerrakete, die den Weltraum erreichte. Am 21. März überwand sie hundert Kilometer Höhe – die offizielle Grenze zum All. Falcon-1 wird von dem Raumfahrtunternehmen SpaceX produziert.

FOTOS DES ARTIKELS: SPACE X (WWW.SPACEX.COM)

Mit dem Start von Falcon-1 bekommen die etablierten Hersteller einen Konkurrenten im Nutzlasttransport. Der Flug gilt als Neunzig-Prozent-Erfolg – der Kontakt zur Rakete ging in 300 Kilometer Höhe verloren.

> Dahinter steht die Einsicht, dass es in der Anfangsphase der privaten Raumfahrt mit Sicherheit zu Unfällen kommen wird – auf Grund der explosiven Treibstoffe, der hohen Geschwindigkeiten und der großen dynamischen Belastungen. Wahrscheinlich wird es auch Havarien mit tödlichem Ausgang geben. Um das aufkeimende Geschäft nicht gleich beim ersten Vorfall schon wieder abzuwürgen, hat der amerikanische Gesetzgeber die oben beschriebene vorschriftsfreie Zeit als notwendig erachtet.

Meine Erfahrung sagt mir, dass wir diesen wohltuenden Pragmatismus in Europa niemals erleben werden. Besonders die Deutschen neigen in sicherheitsrelevanten Fragen, sofern diese nichts mit Autofahren zu tun haben, zu permanenter Hysterie.

Alle Institutionen in Europa, die für die Regelung der privaten Raumfahrt in Frage kommen – und das sind eine ganze Menge –, bezeichnen sich schon einmal vorbeugend als nicht zuständig. Angefangen von der »European Aviation Safety Agency« (Easa), deren Funktion noch am ehesten der amerikanischen FAA entspricht, über die »Joint Aviation Authorities« (JAA), die »International Spaceflight Organisation« (ISFO), die nationalen Raumfahrtagenturen wie DLR, Cnes und Asi bis hin zur Esa: Alle zucken mit den Achseln.

Die Marotten des alten Kontinents

Es gibt sogar ein »European Center für Space Law« (auf Deutsch: Europäisches Zentrum für Weltraumrecht), und man möchte meinen, hier wären die Fragen vielleicht richtig angesiedelt. Aber auch diese Institution beschäftigt sich nicht mit so profanen Dingen, sondern fühlt sich eher zuständig für die juristisch korrekte Auslegung von Rechtsfragen wie: Wem gehören Mond und Mars?

Gehen wir aber einmal davon aus, dass ein Wunder geschieht und in absehbarer Zukunft das Thema ernst genommen, die Zuständigkeiten geklärt und

die nötigen Gesetze verabschiedet werden. In diesem Fall werden sich augenblicklich zwei weitere europäische Besonderheiten auftun: die Vorliebe für ein hochkomplexes Regelwerk sowie das Gerangel um die Frage, wo die Startbasis gebaut werden soll.

Um Problem eins zu verstehen, bedenken Sie nur Folgendes: Die zehn Gebote haben 284 Wörter und Moses schrieb sie an einem Nachmittag auf. Die amerikanische Unabhängigkeitserklärung umfasst 1332 Wörter und dafür beratschlagten die Delegierten einige Tage. Das Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland hat in seiner Originalfassung von 1949 etwas weniger als 12000 Wörter und seine Verfasser brauchten ein paar Wochen, um es zu formulieren. Die Regulierungsvorschrift der Europäischen Union für den Vertrieb von Weißkraut jedoch ist 23826 Wörter lang und es dauerte Jahre, bis sie nach komplizierten und zähen Verhandlungen in Kraft trat.

Es bedarf keinerlei hellseherischer Fähigkeiten, um zu erkennen, dass eine europäische Verordnung über die private Raumfahrt einen bürokratischen Aufwand erfordert, der den für die Regelung des Gemüsehandels um mehrere Größenordnungen übertrifft.

Zum Problem zwei sei nur so viel gesagt, dass es überall in Europa noch für die kleinste Umgehungsstraße Planungsprozesse wahrhaft byzantinischen Ausmaßes gibt und dass Europa die Heimat einer unübersehbaren Heerschar von Umweltaktivisten ist.

Derzeit sind zwei europäische Orte als Startbasis für den suborbitalen Weltraumtourismus im Gespräch: Kiruna in Nordschweden und eine Küstenregion in Nordschottland. Beide liegen weitab dicht besiedelter Städte und fern der überfüllten Luftfahrtwege in Europa. Somit sind beide im Prinzip geeignet.

Kiruna besitzt schon jetzt eine gewisse Raumfahrtinfrastruktur, denn dort starten seit Jahren Höhenforschungsraketen der Esa. Allerdings darf man sich fragen, wie viele betuchte Weltraumreisende in dieser gottverlassenen Gegend, 150 Kilometer nördlich des Polarkreises, herumhängen wollen. Und in Nordschottland leben dummerweise zahlreiche Wildtiere. Überall in Europa kann – dank der energischen Initiativen von Umweltschützern – der Bau einer zwei Kilometer langen Ausweichstraße um eine dauerverstopfte Ortschaft Jahrzehnte dauern, wenn auch nur irgendwo ein einsamer Feldhamster gesichtet wird.

All das haben auch die wackeren Streiter bei Starchaser Industries erkannt. Nachdem sie ihren Esa-Vertrag über 150000 Euro gewonnen hatten, taten sie kund, dass sie alle Arbeiten und Tests in den USA durchführen werden, und zwar auf dem im letzten Jahr eröffneten New Mexico Spaceport.

Stellen wir uns jetzt einmal ein weiteres Wunder vor und nehmen an, dass neben dem erforderlichen Regelwerk auch mindestens ein Weltraumbahnhof geschaffen wird. Dann bleibt die Frage der Finanzierung. Die Esa ist bereit, wir haben es eingangs gesehen, insgesamt 450000 Euro in die private Raumfahrt zu investieren. Das ist weniger als ein Tropfen auf den heißen Stein, wenn es darum geht, einer völlig neuen Industrie zum Durchbruch zu verhelfen.

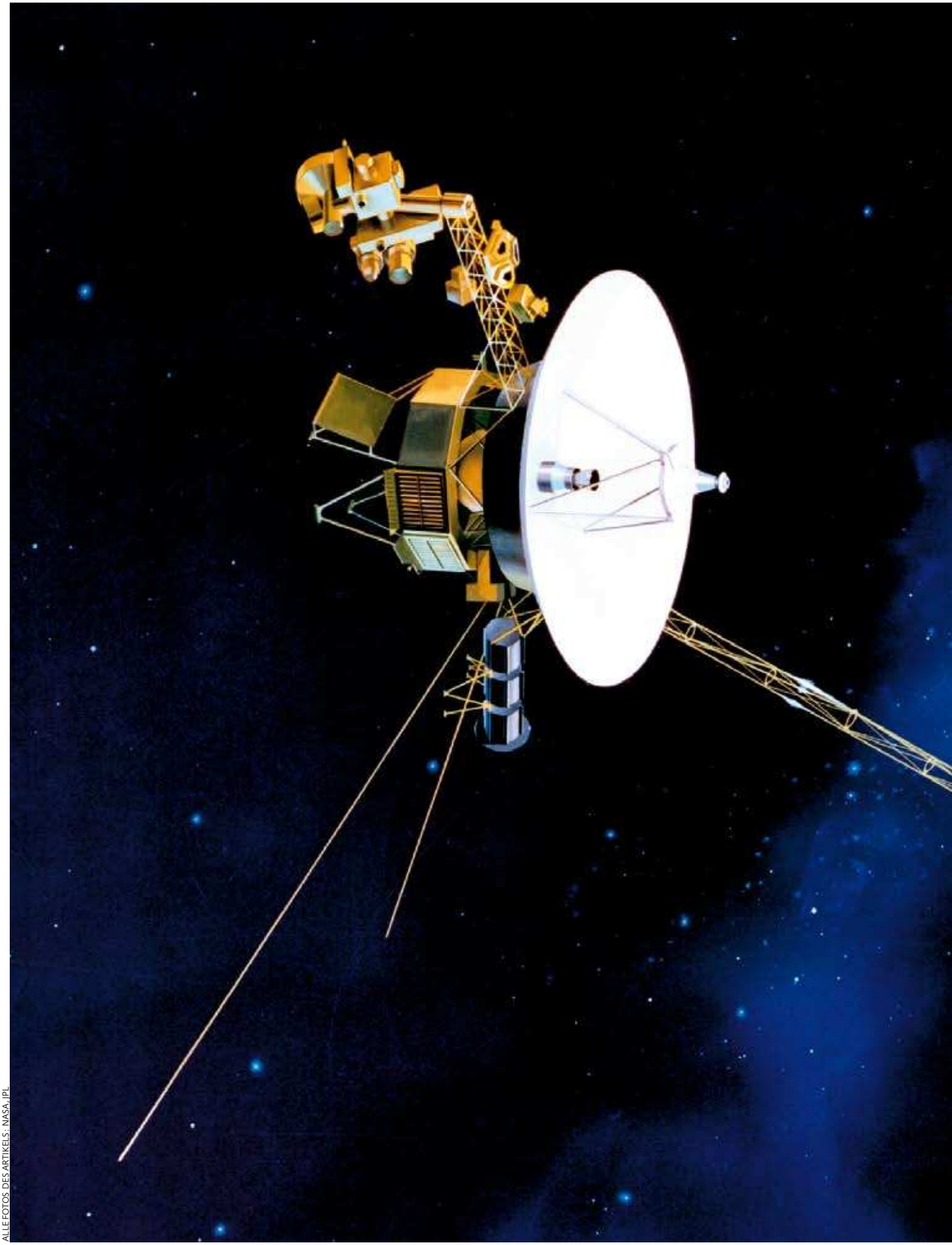
Man braucht also Investoren. Doch europäische Finanziers sind an der privaten Raumfahrt absolut nicht interessiert. Kein Wunder angesichts der zu erwartenden Probleme. Das heißt, nicht alle europäischen Investoren stehen dem Thema ablehnend gegenüber. Fluglinieninhaber Richard Branson, immerhin Brite, ist vom Weltraumtourismus begeistert. Aber er kennt Europa und versucht erst gar nicht, seine neue Firma Virgin Galactic hier anzusiedeln. Lieber investiert auch er im amerikanischen Bundesstaat New Mexico für seinen Raumflughafen und in Kalifornien für die Entwicklung seines Raumfahrzeugs. Fürs Erste legt er schon mal eine Viertelmilliarde Dollar in den Vereinigten Staaten an.

In Europa gibt es nicht weniger reiche Leute als in den USA. Aber nirgendwo ist hier ein Paul Allen, ein Elon Musk, ein Jeff Bezos oder ein Andrew Bigelow zu sehen, die in Amerika derzeit riesige Summen in die private Raumfahrt stecken. Diese Unternehmer finden in den Vereinigten Staaten ideale Bedingungen vor, sie sind risikobereit und haben eine Passion für das Thema. Nichts davon im Abendland.

In zehn oder zwanzig Jahren wird sich Europa verwundert fragen, warum es an der privaten Raumfahrt nicht beteiligt ist

In zehn oder zwanzig Jahren, wenn man die amerikanischen Pioniere des neuen Business preisen wird als die Boeings und Lockheeds des 21. Jahrhunderts, wird Europa aus dem Dornröschenschlaf erwachen, sich verwundert die Augen reiben und fragen, warum es denn nicht teilhat an dieser fortschrittlichen neuen Technologie. Dann werden die europäischen Regierungen auf Kosten des Steuerzahlers ein hochkomplexes Industriekonsortium ins Leben rufen, das dann beginnt, mit der übrigen Welt zu konkurrieren. Dieses Staatsunternehmen wird – darauf kann man schon jetzt wetten – den kreativen Namen »Spacebus« erhalten. Bis dahin hängt sich Europa ein Schild an die Grenzen, auf dem steht: »Bitte nicht stören.« <<

Eugen Reichl ist Vorstandsmitglied im Verein zur Förderung der Raumfahrt e. V. (VFR). Er schreibt regelmäßig Beiträge für ASTRONOMIE HEUTE.



ALLE FOTOS DES ARTIKELS: NASA, JPL

30 Jahre und kein Ende

Am Rand des Sonnensystems treiben zwei baugleiche Raumsonden durch das All. Ihre Reise begann vor drei Jahrzehnten und wurde zu einer der größten Erfolgsgeschichten der unbemannten Raumfahrt.

>> Alexander Kerste

Als die beiden Voyager-Sonden sich 1977 auf ihre Reise begaben, hätte niemand ernsthaft erwartet, dass sie so erfolgreich werden und noch heute Daten liefern würden. Eigentlich sollten sie nur Jupiter und Saturn besuchen. Zwar war bereits in den 1960er Jahren die Idee aufgekommen, eine Raumsonde zu allen vier Gasplaneten zu schicken, aber dies erschien damals als Sciencefiction – immerhin hatte das Raumfahrtzeitalter gerade erst begonnen, und die Mondflüge lagen noch in weiter Zukunft. Ein unbemanntes Raumschiff zwischen 1977 und 1979 zum 4,5 Milliarden Kilometer entfernten Neptun zu senden, schien kaum möglich. Doch nun gab es eine einmalige Gelegenheit: Nur etwa alle 175 Jahre stehen die vier großen Planeten in einer Position, in der sie mit einem einzigen Flug erreicht werden können. Die Sonde, so die Überlegung, könnte beim Vorbeiflug an ihnen Schwung holen, um zusätzlich zu beschleunigen. Swing-by heißt diese Methode, die Mariner 10 erstmals 1974 erprobte, um an der Venus vorbei zum Merkur zu gelangen. Mit dieser Technik würde der Flug zum Neptun keine dreißig Jahre dauern, sondern nur zwölf.

Auf zur »Grand Tour«

Nachdem die letzten Mondflüge Anfang der 1970er auch deshalb gestrichen wurden, weil sich die Öffentlichkeit nicht mehr für den Mond interessierte, suchte die Nasa neue Aufgaben und erinnerte sich wieder an die Möglichkeit einer »Grand Tour« zu den Planeten.

Der Plan sah zunächst vier Raumsonden vor, von denen zwei zu Jupiter, Saturn und Pluto und die anderen beiden zu Jupiter, Uranus und Neptun fliegen sollten. Die veranschlagten Gesamtkosten betrugen allerdings fast eine Milliarde Dollar – viel zu viel nach dem sündhaft teuren Apollo-Programm. Auch der Vietnamkrieg belastete das Budget der USA. Für die »Große Tour« war schlicht kein Geld mehr da. Letztlich genehmigte der Kongress 1972 ein wesentlich billigeres Projekt. Für 360 Millionen Dollar durfte die Nasa eine Mission zu Jupiter und Saturn starten: die Voyager-Mission. Zu diesem Zeitpunkt war Pioneer 10 bereits auf dem Weg zu Jupiter, ihre Schwestersonde Pioneer 11 sollte 1973 folgen und über ein Swing-By-Manöver bis zum Saturn weiterfliegen (AH Oktober 2006, S. 20). Im Vergleich mit ihren nun beschlossenen Nachfolgern waren sie jedoch primitiv und lieferten vergleichsweise schlechte Bilder (Fotos rechts).

Die neuen Raumsonden, die erst ein halbes Jahr vor dem Start in Voyager 1 und 2 umbenannt wurden, ähnelten ihren Vorgängern aus dem Mariner-Programm: Eine vier Meter große Parabolantenne saß auf einem achteckigen Ring, in dem Bordcomputer, Datenspeicher und Instrumente untergebracht waren. Auf einigen Auslegern befanden sich weitere Messinstrumente, eine Plutoniumbatterie sowie eine Geräteplattform, unter anderem mit einer Fernsehkamera. Dazu kam ein Treibstoffvorrat für Kurskorrekturen. Auf ihre endgültige Reisegeschwindigkeit kamen die Sonden vor allem durch den Vorbeiflug (Swing-by) an Jupiter.

Gleich drei Computer mit je einem Ersatzgerät waren nötig: einer für die Erfassung und Aufbereitung der Messdaten, einer für die Navigation und einer für die Überwachung des gesamten Raumschiffs. Mit einem Arbeitsspeicher von insgesamt nur 32 Kilobyte waren sie allerdings selbst für die einfachen Schwarz-Weiß-Fotos, die die Kamera mit einer Auflösung von 640 000 Pixeln lieferte, zu leistungsschwach. Heute können schon Handys größere Bilder verarbeiten, in den 1970er Jahren musste hingegen ein Tonbandgerät eingebaut werden, um die Daten auf Band zwischenzuspeichern. Der Haken dabei: Wenn dessen Spulen anliefen, begann das ganze Raumschiff zu wackeln.

Die Mehrkosten für die Konstruktionen eines zweiten Raumschiffs waren vergleichsweise gering. Daher waren im Sommer 1977 schließlich zwei baugleiche Sonden einsatzbereit. Die Überlegung der Wissenschaftler: Wenn sie zeitversetzt starteten, könnten Fehlfunktionen der ersten bei der zweiten vielleicht vermieden werden. Und wenn alles glatt liefe, könnte die zweite Sonde vielleicht doch noch Richtung Uranus und Neptun geschickt werden. Diese Entscheidung sollte allerdings erst 1981 fallen, wenn Voyager 1 hoffentlich ihr Plansoll erfüllt haben würde und die zweite Sonde für weitere Experimente bereitstand.

Tücken der Technik

Die Mission begann mit einem Bilderbuchstart der Voyager-2-Sonde am 20. August 1977 – obwohl sie vor ihrem Zwilling startete, sollte sie Jupiter auf Grund ihrer Route erst nach Voyager 1 erreichen. Einige Stunden später gab es allerdings bereits den ersten Schock. Die Arbeitsplattform mit vier von elf Instrumenten ließ sich nicht vollständig ausfahren und blieb kurz vor der anvisierten Stellung hängen. Erst nach einer Weile konnten die Techniker den Computer so progammieren, dass er das Problem ignorierte.

16 Tage später folgte dann Voyager 1, sie sollte auf einer kürzeren und schnelleren Bahn zum Jupiter fliegen. Doch auch hier gab es wenige Minuten nach dem Start Probleme: Die Sonde kam nur mit Mühe auf ihre Bahn, und im Tank befand sich bloß noch Manövriertreibstoff für drei Sekunden. Wäre sie nicht rechtzeitig dorthin gelangt, hätte Voyager 1 nicht alle Aufgaben erfüllen können. Die Schwestersonde Voyager 2 hätte dann keine Gelegenheit mehr gehabt, die fernsten Planeten zu erkunden.

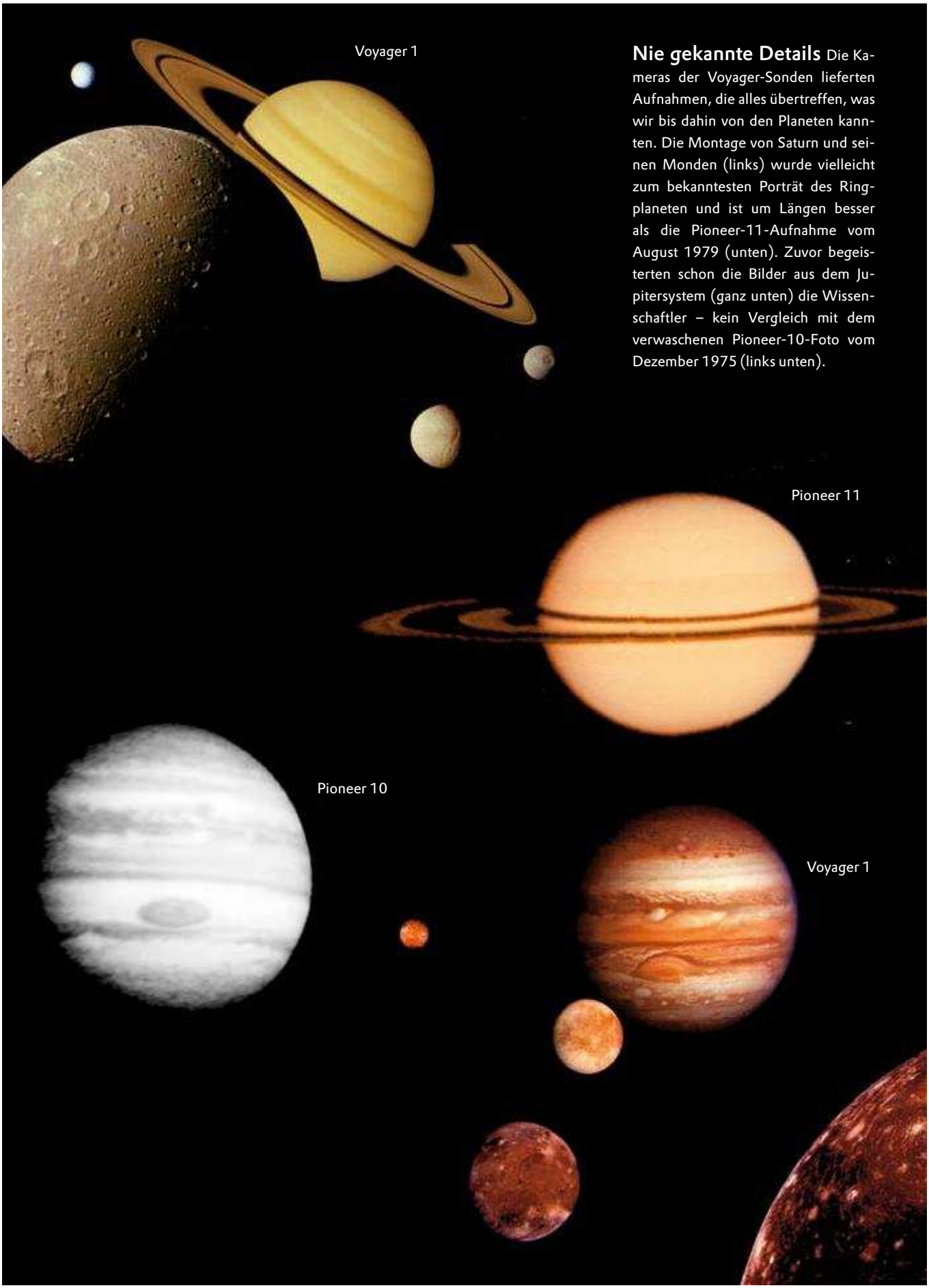
Entgegen aller Befürchtungen funktionierte Voyager 1 in den folgenden Jahren fast fehlerfrei. Voyager 2 hingegen wurde zum Sorgenkind. Der Empfänger für Befehle von der Erde fiel aus, ebenso das Er- >

Voyager-Sonden zum Selbstbasteln

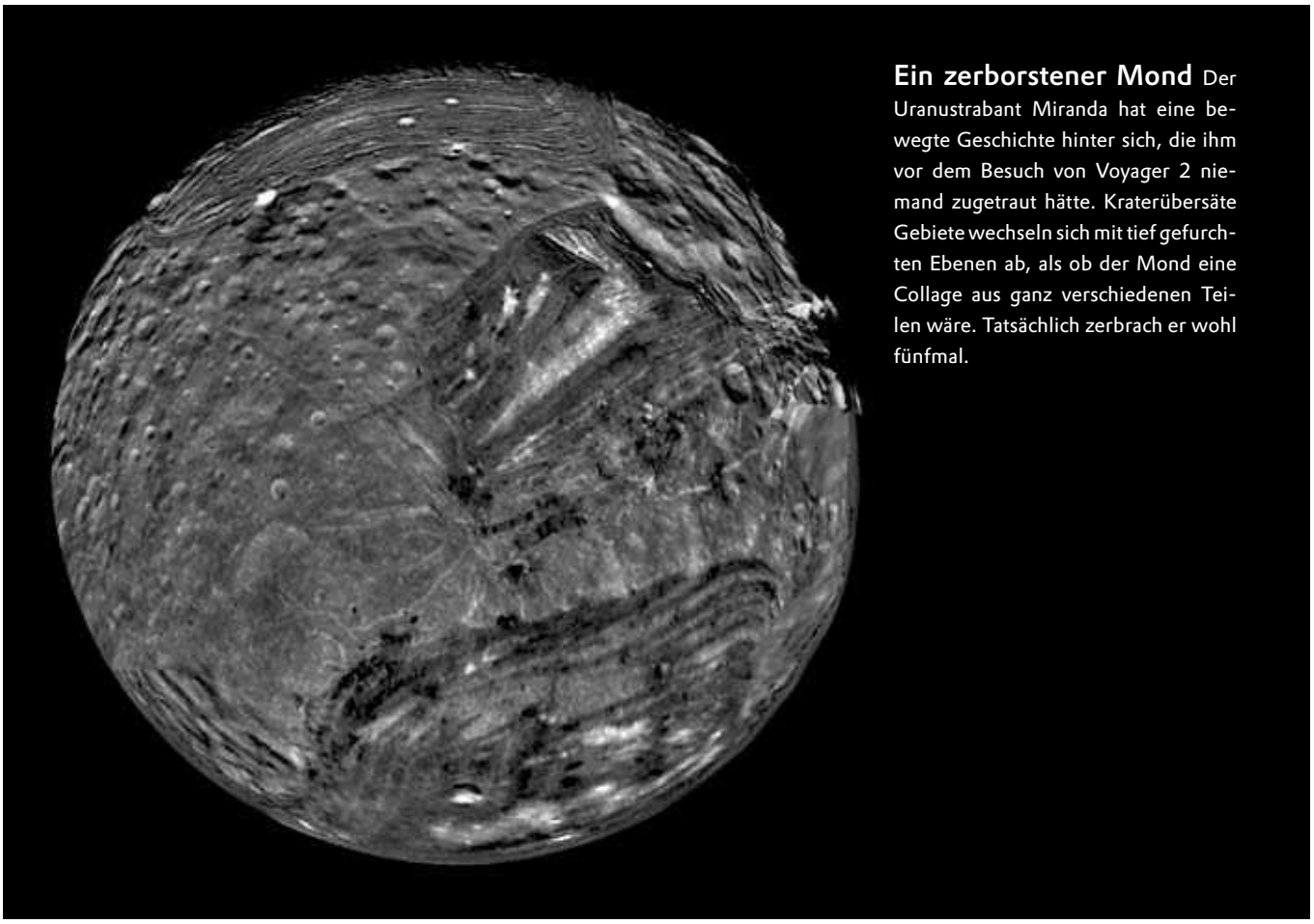
Als Ergänzung zu diesem Beitrag finden Sie unter www.wissenschaft-schulen.de didaktisches Material für einen Beobachtungsabend. Neben Arbeitsblättern, die sich thematisch mit der Voyager-Mission beschäftigen, wird ein Bastelbogen für ein Kartonmodell der Raumsonde angeboten, welches alle wesentlichen Komponenten zeigt.

Unser Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« führen wir in Zusammenarbeit mit der Landesakademie für Lehrerfortbildung in Donaueschingen durch. Es wird von der Klaus Tschira Stiftung gGmbH großzügig gefördert. <<

wis
wissenschaft in die schulen!



Nie gekannte Details Die Kameras der Voyager-Sonden lieferten Aufnahmen, die alles übertreffen, was wir bis dahin von den Planeten kannten. Die Montage von Saturn und seinen Monden (links) wurde vielleicht zum bekanntesten Porträt des Ringplaneten und ist um Längen besser als die Pioneer-11-Aufnahme vom August 1979 (unten). Zuvor begeisterten schon die Bilder aus dem Jupitersystem (ganz unten) die Wissenschaftler – kein Vergleich mit dem verwaschenen Pioneer-10-Foto vom Dezember 1975 (links unten).



Ein zerborstener Mond Der Uranustrabant Miranda hat eine bewegte Geschichte hinter sich, die ihm vor dem Besuch von Voyager 2 niemand zugetraut hätte. Kraterübersäte Gebiete wechseln sich mit tief gefurchten Ebenen ab, als ob der Mond eine Collage aus ganz verschiedenen Teilen wäre. Tatsächlich zerbrach er wohl fünfmal.

> satzgerät. Dadurch empfing die Sonde nur noch in einem extrem schmalen und ständig wechselnden Frequenzbereich.

Die Computerspezialisten des Jet Propulsion Laboratory (JPL) konnten die Probleme jedoch lösen, und so erreichte an Neujahr 1979 das erste Bild von Jupiter die Erde – aufgenommen aus einer Entfernung von fünfzig Millionen Kilometern. Den Flug durch den Asteroidengürtel hatten beide Sonden zuvor unbeschadet überstanden. 1,5 Millionen Kilometer vor dem Gasplaneten registrierten die Instrumente von Voyager 1 erstmals den Einfluss Jupiters.

Vorbei an Jupiter und Saturn

Die Forscher waren vor allem an Jupiters Atmosphäre interessiert – Sturmgebiete wie der Große Fleck übertreffen alles, was wir von der Erde kennen. Das Interesse an seinen Trabanten hingegen war eher gering: Seit den Apollo-Missionen erwartete man auch bei anderen Monden keine Überraschungen mehr. Dennoch sollten die Sonden auch die vier großen Galileischen Monde besuchen, die von der Erde aus bereits im Fernglas als Lichtpunkte sichtbar sind, und den kleineren Mond Amalthea.

Voyager 1 raste am 5. und 6. März dreißig Stunden lang durch das Jupitersystem, wobei sie durch die Schwerkraft des Planeten wie geplant beschleunigt und in Richtung Saturn abgelenkt wurde. In dieser Zeit übertrug sie nicht nur Bilder des Planeten in nie gekannter Qualität, sondern auch von den fünf Monden, die sie passierte: Jeder sah völlig anders aus, und auf Io gab es sogar Vulkane! Sie waren bei Weitem nicht so langweilig wie zuvor angenommen.

Jupiter hatte noch eine Überraschung parat. Auf einer Aufnahme entdeckten die Wissenschaftler Hinweise auf einen schwachen Ring – vorher waren Ringe nur bei Saturn und Uranus bekannt. Am 9. Juli folgte Voyager 2 und ergänzte unser Wissen um das Jupitersystem mit weiteren Momentaufnahmen, darunter auch 24 Bilder vom neu entdeckten Ring.

Etwa drei Jahre später näherte sich Voyager 1 dem Saturn. Die Sonde brachte in jeder Stunde rund 50 000 Kilometer hinter sich und hatte dabei die Sonne im Rücken: perfekte Bedingungen für scharfe Bilder. Aus den sechs bekannten Ringen wurden so erst dutzende, dann tausende, deren Anblick sich ständig änderte. Neue Monde tauchten auf den Bildern auf. Ein Ring zeigte sogar speichenartige Strukturen, die über längere Zeit stabil blieben – eigentlich unmöglich, da die Ringe aus tausenden Eis- und Gesteinsbrocken bestehen, die mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten um Saturn kreisen.

Voyager 1 sollte am 12. November 1980 in nur 4000 Kilometer Abstand an dem – wie man glaubte – größten Mond des gesamten Sonnensystems vorbeifliegen: an Titan. Der Preis für die Neugier war hoch, denn dadurch würde das Raumschiff auf eine Bahn gelenkt werden, die ohne weiteren Vorbeiflug an anderen Planeten aus dem Sonnensystem herausführte. Und falls etwas schiefgehen würde, müsste Voyager 2 ihrem Vorgänger folgen und einen neuen Versuch unternehmen – die Grand Tour zu Uranus und Neptun wäre damit gestorben.

Der Saturntrabant stand auf dem Programm, da er als einziger Mond eine sichtbare Atmosphäre besitzt – alle ande-

ren sind entweder zu klein oder zu warm, um eine Lufthülle halten zu können. Titans Atmosphäre, so die Vermutung der Forscher, dürfte ähnlich sein wie die der Erde, bevor dort (das) Leben entstand. Der Mond versprach also interessant zu werden.

Zumindest optisch entpuppte sich Titan allerdings als Flop: Die Monitore auf der Erde zeigten nur eine orangefarbene Kugel ohne jegliche Details. Dafür lieferten die übrigen Instrumente wertvolle Daten über die Zusammensetzung der Atmosphäre. Voyager 2 hatte ein riesiges natürliches Chemielabor gefunden, dessen Smog den Mond einhüllt.

Während die Wissenschaftler sich noch über die Messwerte freuten, ergaben sich für die Techniker neue Probleme. Titan war deutlich kleiner (und damit leichter) als erwartet – einhundert Kilometer kleiner als der Jupitertrabant Ganymed. Voyager 1 wurde daher nicht auf den geplanten Kurs gelenkt. Hinzu kam noch ein Rechenfehler: Der Mond war einhundert Kilometer von der erwarteten Position entfernt. Wie sich jedoch schließlich zeigte, glichen sich die beiden Irrtümer aus und die Sonde schwenkte auf die geplante Bahn ein.

Etwa einen Tag verbrachte Voyager 1 mit der Erforschung des Saturnsystems, bevor sie es in Richtung Unendlichkeit verließ. Viele Saturnmonde entpuppten sich als kleine, rasende Eisbälle, die eher an Kometen denn an unseren Erdmond erinnerten.

Große Tour mit Hindernissen

Am 22. August erreichte auch die zweite Sonde das Saturnsystem, drei Tage später kam sie ihm am nächsten und verschwand schließlich für 95 Minuten im Funkschatten hinter dem Planeten. Als sie wieder auftauchte, knallten im JPL die Sektkorken: Voyager 2 war auf dem Weg zum Uranus, der Grand Tour stand nichts mehr im Weg! Es dauerte einige Zeit, bis die Wissenschaftler bemerkten, dass zwar der Funkkontakt wieder hergestellt war, dass die Monitore aber trotzdem schwarz blieben: Die Kameras zeigten ins Leere. Die Arbeitsplattform mit Kamera, Spektrometer und anderen wichtigen Instrumenten reagierte nicht – später stellte sich heraus, dass eine Antriebswelle gebrochen war. Mit vorsichtigen Manövern versuchten die Ingenieure, die Plattform wieder auszurichten, was ihnen schließlich nach drei Tagen gelang. Zumindest ein Teil des Saturnprogramms konnte so dennoch abgeschlossen werden. Gemeinsam erkundeten beide Sonden 17 Monde, von denen zuvor nur elf bekannt waren.

Voyager 2 machte sich nun, wie erhofft, auf den Weg zum Uranus – allerdings quasi taub und jetzt auch noch verkrüppelt. Die Stromversorgung wurde mit der Zeit ebenfalls kritisch: Die Plutoniumbatterie war nur für die Vier-Jahres-Reise zum Saturn ausgelegt.

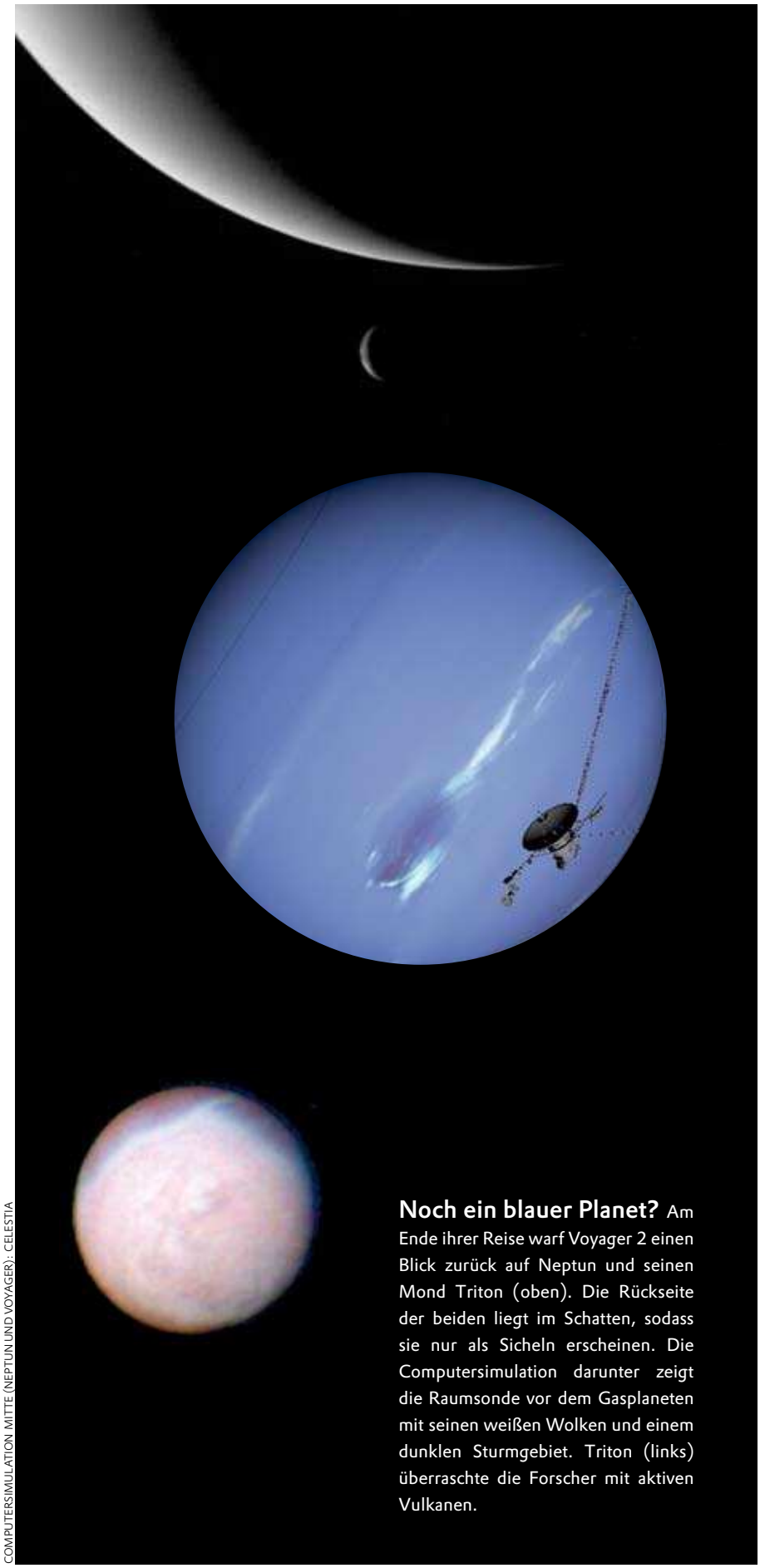
Bei Uranus musste das alte Raumschiff am 27. Januar 1986 dennoch erneut Höchstleistungen vollbringen, auch wenn längst nicht mehr alle Instrumente gleichzeitig betrieben werden konnten. Der Flug durch das System würde gerade einmal sechs Stunden dauern, da die Achse des Planeten um 98 Grad geneigt >

Kosmische Botschaft

An der Außenseite der beiden Voyager-Sonden befindet sich ihre berühmteste Fracht: eine goldene Schallplatte, auf der 27 Lieder, 35 Geräusche und 116 Bilder kodiert sind, sowie in 55 Sprachen ein freundliches »Herzliche Grüße an alle«. Auf der Hülle sind Hinweise zur Position der Sonne angebracht, genau wie eine Bedienungsanleitung für den Plattenspieler.

Einen praktischen Nutzen besitzt diese Fracht nicht, daher war sie äußerst umstritten: Einerseits betrug ihr Gewicht stolze zwei Kilogramm – und das bei einer Sonde, bei der um jedes Gramm gestritten wurde. Andererseits war fraglich, was alles verewigt werden sollte: das aufgenommene Geräusch eines Kusses zum Beispiel sollte »eindeutig heterosexuell« klingen, und das Lied »Here comes the Sun« von den Beatles durfte wegen einer Urheberrechtsfrage nicht mit auf die Reise.

Es ist sowieso nicht anzunehmen, dass irgendwann einmal eine außerirdische Intelligenz die Platte finden wird. Doch selbst wenn sie niemals jemand abspielen sollte, bleibt sie ein Denkmal für die Menschheit, das unsere Zivilisation wahrscheinlich lange überdauern wird. <<



Noch ein blauer Planet? Am Ende ihrer Reise warf Voyager 2 einen Blick zurück auf Neptun und seinen Mond Triton (oben). Die Rückseite der beiden liegt im Schatten, sodass sie nur als Sicheln erscheinen. Die Computersimulation darunter zeigt die Raumsonde vor dem Gasplaneten mit seinen weißen Wolken und einem dunklen Sturmgebiet. Triton (links) überraschte die Forscher mit aktiven Vulkanen.

COMPUTERSIMULATION MITTE (NEPTUN UND VOYAGER): CELESTIA

> ist – der Planet »rollt« auf seiner Bahn, und Voyager 2 näherte sich ihm von oben aus Richtung seines Nordpols. Eine zusätzliche Herausforderung war die Finsternis: Bei Uranus kommt nur ein Vierhundertstel des Sonnenlichts an, das wir auf der Erde erhalten – keine guten Voraussetzungen für Fotografie.

Die Techniker des JPL nutzten die Zeit, um die Radioteleskope auf der Erde zu modernisieren und die Sonde so weit aufzufrischen wie aus der Ferne möglich: Die Steuerdüsen wurden bis auf das Äußerste ausgereizt, um die Kameras während der bis zu 96 Sekunden dauernden Aufnahmen nachzuführen, und die Computer komprimierten die Bilder – ansonsten hätte die Übertragung eines einzigen Fotos von Uranus 13 Minuten gedauert.

Ausreißer Uranus

Als Voyager 2 sich dann endlich dem Planeten näherte, tat sich auf den Bildschirmen zunächst wenig. Uranus blieb eine strukturlose blaugrüne Kugel, umkreist von kaum sichtbaren Ringen und dunklen Wolken. Erst die Messinstrumente zeigten überraschende Ergebnisse: Das Magnetfeld war stark verschoben, die magnetischen Pole lagen fast in der Äquatorregion. Das Innere des Uranus musste völlig anders aussehen als bisher angenommen. Kein Wunder also, dass das Bildteam (Imaging Team) des JPL vorübergehend in Einbildungsteam (Imagining Team) umbenannt wurde und die meisten Pressemitteilungen daher zunächst die Flugroute betrafen, über die regelmäßig diskutiert wurde. Weder Sonnenabstand noch Größe und Dichte des Planeten waren genau bekannt, trotzdem sollte Uranus das Raumschiff zum Neptun lenken.

Letztlich stand für die Raumsonde eine Bahn fest, die nahe am Mond Miranda vorbeiführte. Der nur 500 Kilometer große Himmelskörper galt zunächst als langweiligster Trabant, verblüffte dann aber mit tiefen Schluchten, hohen Bergen, Furchen und Kratern – mehr Geologie, als so einer kleinen Welt eigentlich zusteht.

Das Uranussystem, das zuvor nur aus ein paar Lichtflecken bestand, offenbarte auf den Voyager-Bildern erste Details und stellte die Forscher nach dem kurzen Vorbeiflug vor viele neue Rätsel.

Als das Raumschiff sich drei Jahre später schließlich Neptun näherte, stan-

den die Verantwortlichen vor einem ganz neuen Problem. Bei den vorhergegangenen Stationen bestimmte das nächste Ziel die Flugbahn. Nun gab es aber kein nächstes Ziel mehr, und die Vorschläge der Wissenschaftler dazu waren so zahlreich wie die möglichen Flugbahnen. Einige Forscher dachten sogar daran, die Sonde auf Triton, Neptuns größtem Mond, zerschellen zu lassen.

Schließlich wurde entschieden, die Sonde mit etwa 100 000 Kilometern in der Stunde nur 4900 Kilometer über Neptuns Wolkendecke fliegen zu lassen, sodass sie Triton dann in einem Abstand von 38 500 Kilometern passieren könnte. Anfang Juni 1989 kamen die ersten Bilder. Der bläuliche Planet, von dem die Teleskope auf der Erde praktisch keine Details zeigten, offenbarte helle Wolken und einen dunklen Fleck – ein ausgedehntes Sturmgebiet ähnlich Jupiters Großem Rotem Fleck. Im Gegensatz zu Uranus gab es auf Neptun »richtiges Wetter« – was dort mangels Sonnenwärme niemand erwartet hätte.

Der Vorbeiflug an Neptun am 24. August 1989 lief wie geschmiert, auch wenn beim Passieren der Ringebene ein wahres Trommelfeuer aus Mikrometeoriten auf die Sonde niederging. Bis zu dreihundert Einschläge pro Sekunde wurden gemessen. Die zweite Hürde, den nahen Vorbeiflug an Neptun, nahm die Sonde ebenfalls ohne Schwierigkeiten: Aus Sicherheitsgründen waren die Kameras abgeschaltet und vom Planeten weggedreht. Auf Triton entdeckte Voyager 2 die 6000 Meter hoch aufsteigende Fontäne eines Vulkans, bevor sie das Neptunsystem verließ.

Damit endete die Grand Tour und die meisten Geräte wurden abgeschaltet. Am 1. Januar 1990 erhielten die Sonden neue Namen: Als Voyager Interstellar Mission erkunden sie nun den Rand des Sonnensystems.

Und die Reise geht weiter

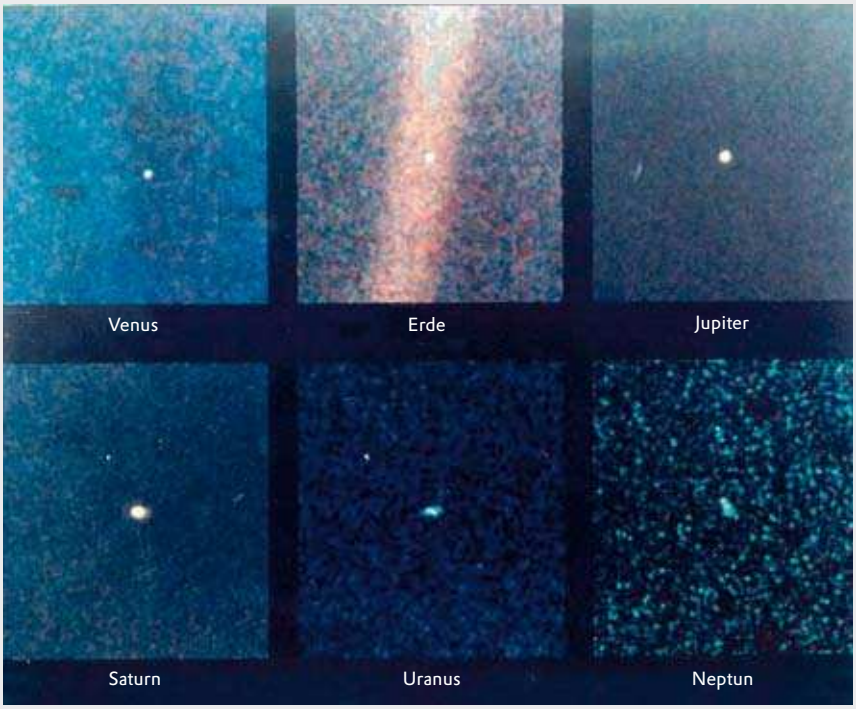
Auch wenn die Kameras längst nicht mehr funktionieren, übermitteln die Gefährte weiterhin Daten über den Sonnenwind und die Magnetfelder dort draußen. Im Mai 1993 entdeckten Wissenschaftler erstmals Radiostrahlung aus der Heliopause – dem äußeren Rand des Planetensystems. In diesem Bereich stößt der Sonnenwind auf das interstellare Medium. Das Ergebnis ist eine magnetische Blase, die Heliosphäre. Das Gebiet, an dem der Sonnenwind abrupt abgebremst wird, erreichte Voyager 1 Ende 2003 in 14 Milliarden Kilometer Entfernung von der Sonne (AH 1-2/2004, S. 17).

Seit dem 17. Februar 1998 ist Voyager 1 die am weitesten entfernte Raumsonde. Voyager 2 wird voraussichtlich noch bis 2009 über Treibstoff verfügen. Im Schnitt legen die beiden Sonden etwa 1,7 Millionen Kilometer pro Jahr zurück. Noch mindestens bis 2020 dürften sie Daten übertragen, bevor ihre Batterien dafür zu schwach werden. Voyager 1 befindet sich gerade im Schlangenträger an der Grenze zu Herkules. Voyager 2 fliegt zurzeit durch das Sternbild Teleskop am Südhimmel. Im Jahr 8569 wird sie sich Barnards Pfeilstern im Schlangenträger nähern. Sirius steht in knapp dreihunderttausend Jahren auf dem Programm.

Denken Sie an diese Raumsonden, die uns die ersten Nachrichten von den Randbezirken unseres Sonnensystems gesendet haben, wenn Sie in einer klaren Nacht in Richtung Süden blicken – Richtung Voyager 1, in der Region zwischen Herkules und Schlangenträger. <<

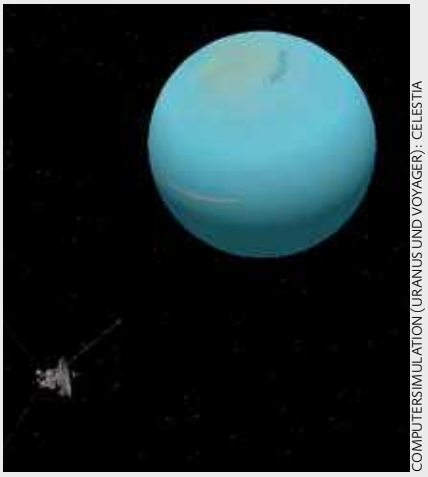
Alexander Kerste hat bei seinen Vorträgen auf der Heilbronner Sternwarte schon oft auf Voyager-Bilder zurückgegriffen.

Valentinsgrüße einer Raumsonde

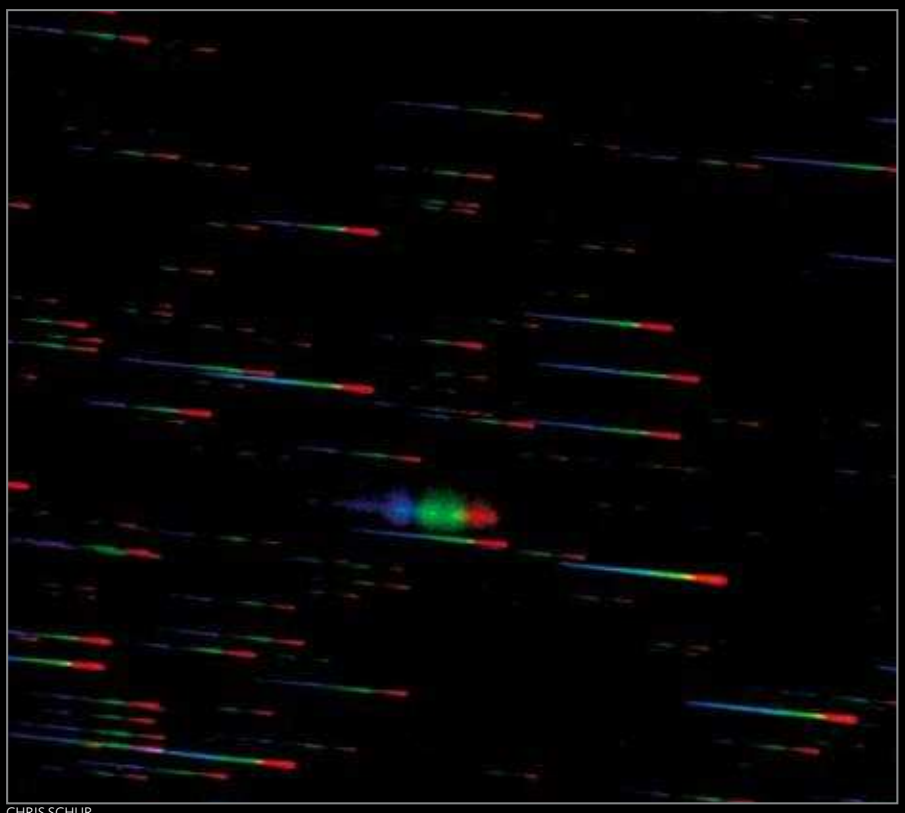


Nur Merkur, Mars und Pluto fehlen auf diesen Porträts des Sonnensystems (oben), die Voyager 1 am 14. Februar 1990 aus sieben Milliarden Kilometer Entfernung als »Valentinsgruß« zur Erde funkte. Merkur und Mars wurden von der Sonne überstrahlt, während Pluto – damals noch neunter Planet des Sonnensystems – für die Kameras des Raumschiffs zu klein und lichtschwach war.

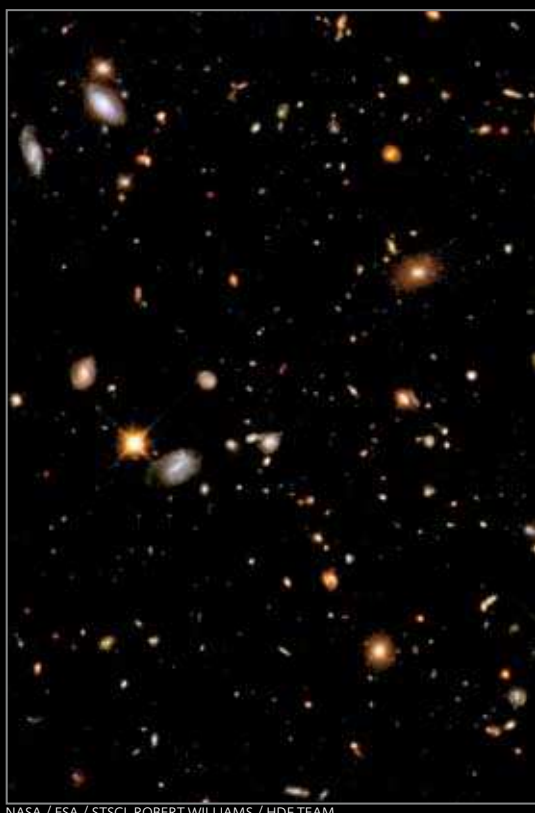
Die Schwestersonde Voyager 2 besuchte die beiden äußeren Planeten aus der Nähe, auch wenn zumindest Uranus (Computergrafik rechts) kaum Details offenbarte. <<



COMPUTERSIMULATION (URANUS UND VOYAGER): CELESTIA



CHRIS SCHUR



NASA / ESA / STSCI, ROBERT WILLIAMS / HDF TEAM

Kosmische Kryptologie

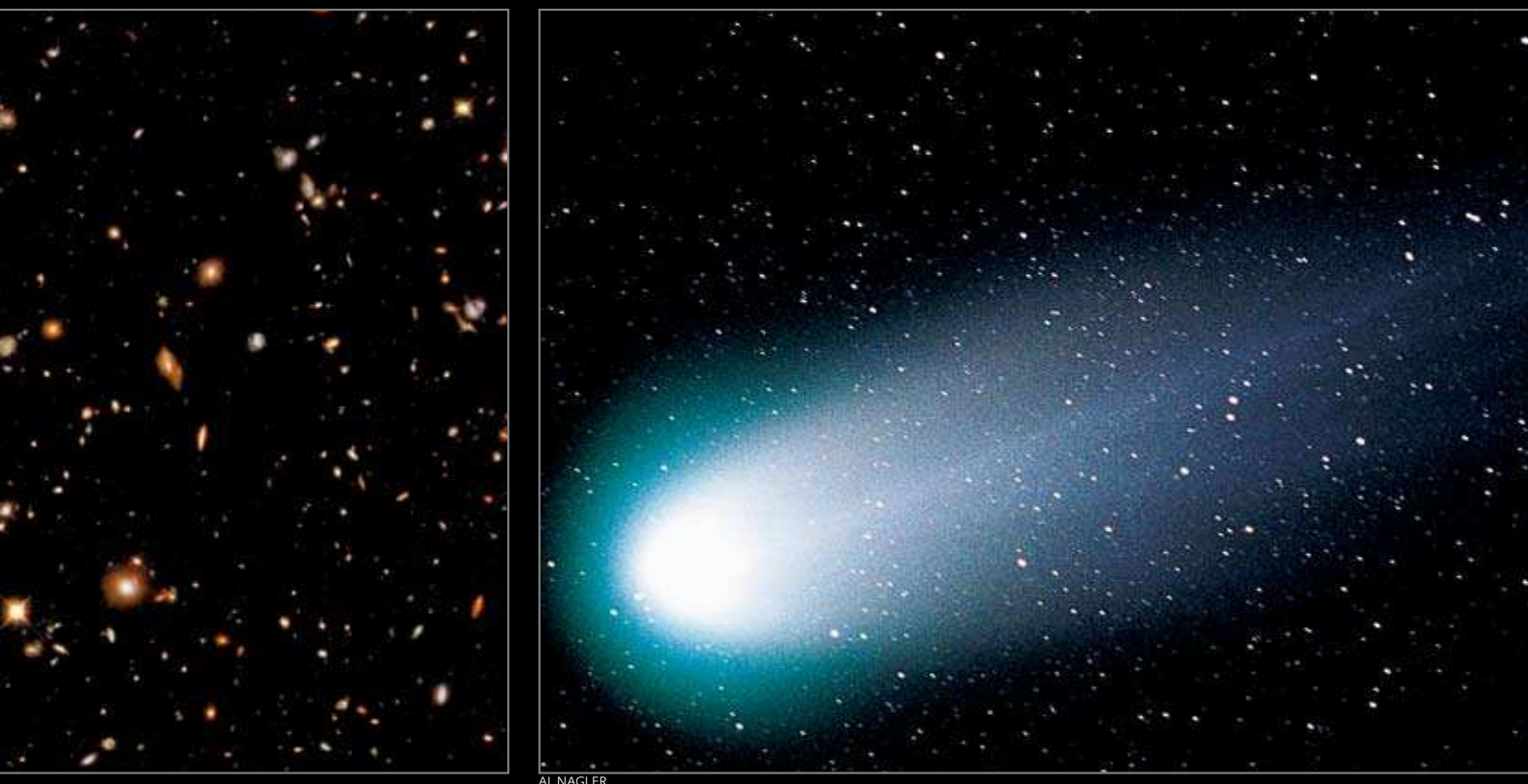
Um das Geschehen in entfernten Ecken des Universums zu entschlüsseln, arbeiten Astronomen wie Geheimdienstler oder Spezialisten eines kriminaltechnischen Erkennungsdienstes.

>> Daniel Wolf Savin, Benjamin J. McCall und Kate Kirby

Woraus bestehen interstellare Wolken? Welche Eigenschaften hat die Materie, die supermassereiche Schwarze Löcher umgibt? Warum strahlen eiskalte Kometen energiereiche Röntgenstrahlung aus? In kodierter Form geben die Spektren der Objekte die Antworten auf all diese Fragen. Die Spektroskopie – also das Gewinnen und die Analyse von Spektren – ist somit das wichtigste Instrument, das uns zur Erforschung des Universums jenseits unseres Sonnensystems zur Verfügung steht (»Detektive des Sternenlichts«, AH Dezember 2004, S. 22).

Die Gesetze der Physik besagen, dass jedes Atom und jedes Molekül bei bestimmten charakteristischen Wellenlängen Strahlung aussenden (»emittieren«) oder einfangen (»absorbieren«) kann. Astronomen verwenden ein Spektrometer, um das Licht eines Himmelsobjekts in sämtliche Wellenlängen aufzufächern, aus denen es sich zusammensetzt – wie ein Prisma, das das Sonnenlicht in alle Regenbogenfarben zerlegt. Die Linien, die in dem resultierenden Spektrum sichtbar werden, sind wie ein Fingerabdruck, den man zur Bestimmung der an den Strahlungsprozessen beteiligten Atome, Ionen oder Moleküle verwenden kann. Doch um einen »Täter« zu überführen, muss sein Fingerabdruck bekannt sein.

Seitdem Joseph Fraunhofer sich im Jahr 1814 erstmals mit dem Spektrum unserer Sonne auseinandersetzte, arbeiten deshalb Astronomen mit Laborphysikern und Theoretikern zusammen. Nur so können sie es schaffen, die Informationen, die in kosmischen Spektren kodiert sind, richtig zu entschlüsseln. Diese Bemühungen haben in vielen wissenschaftlichen Bereichen zu Durchbrüchen geführt – wie zur Entdeckung von Heli-



AL NAGLER

Viel von dem, was wir über das Universum wissen, verdanken wir den Spektren von Sternen (links), Galaxien (Mitte) und Kometen wie C/1996 B2 Hyakutake (rechts). Um jedoch Linien in den Objektivprismenspektren eines Sternfelds (links, mit einem Kometen im Zentrum) zu identifizieren, müssen die Astronomen ihre Aufnahmen mit Laborspektren jener Atome oder Moleküle vergleichen, welche die Verursacher dieser Linien sein könnten. Ohne solche irdische Detektivarbeit wären die Muster aus Emission und Absorption, die bei der Aufspaltung des Sternlichts in seine Komponenten sichtbar werden, nicht zu entschlüsseln.

um, dem Verständnis, welche Elemente im Urknall entstanden sind, und der Erklärung des Lebenszyklus von Sternen.

Jedes astronomische Spektrum enthält eine Botschaft. Um sie zu dekodieren, muss man jene Atom-, Molekular-, Nuklear- und Festkörperprozesse verstehen, die zum Spektrum beitragen. Die Laborastrophysik ist deshalb so etwas wie der Stein von Rosetta für Astronomen: ein Übersetzungsschlüssel, der die Spektren für uns lesbar macht.

Die Forschung auf diesem Gebiet umfasst sowohl experimentelle als auch theoretische Arbeit – die beiden Bereiche ergänzen, bestätigen oder widerlegen einander. Die Theorie beschäftigt sich darüber hinaus mit physikalischen Situationen und Zuständen, die zu extrem sind, um sie im Labor nachzustellen.

Erkennungsdienst Physik

Experimente hingegen bieten die Möglichkeit, durch Messungen Ergebnisse für Probleme zu erzielen, für die eine theoretische Behandlung zu kompliziert wäre. Ohne diese Arbeit »hinter den Kulissen« wäre es Astronomen nicht möglich, die Spektren von Sternen oder anderen kosmischen Objekten zu interpretieren. Ein paar Beispiele können erklären, wie das Zusammenwirken von Beobachtung, Experiment und Berechnung es den Forschern ermöglicht, einigen der faszinierendsten Geheimnisse des Universums auf die Spur zu kommen.

▶ **Fall 1** – Diffuse Interstellare Banden. Die Spektren der Sterne enthalten zahlreiche dunkle Linien, die auf Atome in der Sternatmosphäre zurückgehen. Diese absorbieren das Licht, das gerade auf dem Weg zu uns ist, bei speziellen Wellenlängen. Im frühen 20. Jahrhundert machten die Astronomen eine erstaunliche Entdeckung: Manche jener Absorp- >

> tionslinien stammen von Wolken aus Gas, die zwischen uns und den Sternen liegen. Diese diffusen interstellaren Wolken haben nur ein Milliardstel von einem Milliardstel der Dichte der Erdatmosphäre, doch wegen ihrer enormen Größe können sie die Masse von zehntausend Sonnen erreichen.

Auf die spektroskopische Arbeit in den Labors aufbauend, konnten die Astronomen einige dieser Spektrallinien identifizieren. Sie fanden heraus, dass die Linien von Atomen wie Natrium, Kalium oder Titan und von kleinen, kohlenstoffhaltigen Molekülen stammten. In jüngster Vergangenheit haben Wissenschaftler auch größere Moleküle nachgewiesen. Angesichts solcher Fortschritte sollte man meinen, dass diese interstellaren Wolken heute schon gut verstanden sind.

Dem ist aber nicht so. Eine nicht unbedeutende Anzahl dunkler Stellen in den Spektren der Sterne konnte bis heute nicht identifiziert werden. Die ersten zwei dieser rätselhaften Linien wurden im Jahr 1919 von Mary Lea Heger am Lick Observatory in Kalifornien entdeckt. Sie sind breiter als normale Linien und erscheinen in fotografischen Spektren unscharf oder diffus. Daher werden sie auch als Diffuse Interstellare Banden (DIBs) bezeichnet.

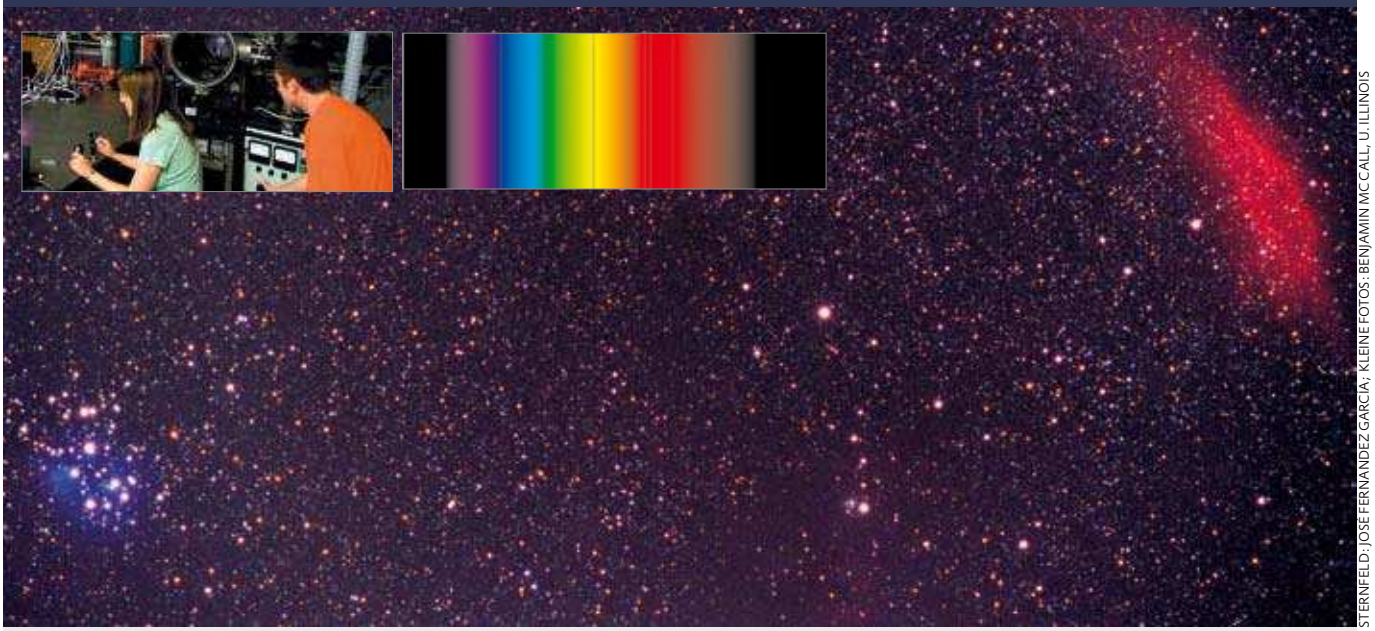
Folgebeobachtungen wiesen die Existenz hunderter DIBs nach – und ergaben außerdem, dass diese vermutlich von großen, wahrscheinlich organischen – also kohlenstoffhaltigen – Molekülen stammen. Doch wir haben immer noch nicht die geringste Ahnung, um welche Moleküle es sich handelt! Das ist sehr erstaunlich, wenn man bedenkt, dass die meisten anderen Fragen, die die Astronomen vor achtzig Jahren beschäftigt haben, schon längst beantwortet sind.

Die Vorgehensweise bei der Suche nach der Lösung dieses Rätsels ist dabei eigentlich recht simpel: Die Wissenschaftler wählen ein bestimmtes Molekül, das für ein DIB verantwortlich sein könnte, nehmen seinen »Fingerabdruck« im Labor und prüfen, ob er mit jenem im beobachteten Spektrum übereinstimmt. Die Kriterien, nach denen die Moleküle für diese Untersuchungen ausgewählt werden, beruhen dabei auf unserem beschränkten Wissen über die chemischen und physikalischen Bedingungen in diffusen interstellaren Wolken – und auf allen weiteren Informationen über das Spektrum eines bestimmten Moleküls, derer wir auf irgendeine Weise habhaft werden können. Hier korrekt zu »raten« ist nicht leicht: Bis heute waren die Wissenschaftler erfolglos. Das Aufinden des richtigen Moleküls erfordert außerdem, dass wir im Labor annähernd interstellare Bedingungen herstellen.

Trotz enormen Aufwands blieb die Suche der Wissenschaftler nach den »Banden-Mitgliedern« bis heute erfolglos

Eine der Forschungsgruppen, die sich mit den Spektren potenzieller DIB-Kan-

Diffuse Interstellare Banden



STERNFELD: JOSE FERNANDEZ GARCIA; KLEINE FOTOS: BENJAMIN MCCALL, U. ILLINOIS

Erscheint ein Sternfeld röter, als es eigentlich sollte – wie bei diesem hier zwischen den Plejaden (M 45, links im großen Bild) und dem California-Nebel (NGC 1499) –, wissen die Astronomen sofort, dass sich Staub und Gas zwischen uns und den Sternen befindet. Tatsächlich zeigen die Spektren von Sternen in Feldern wie diesem Hunderte von Absorptionslinien – und manche stammen offenbar von interstellaren Wolken. Fast neunzig Jahre nach ihrer Entdeckung sind diese Diffusen Interstellaren Banden (DIBs) immer noch keinem Stoff zugeordnet. Wissenschaftler an der University of Illinois (kleines Bild, links) untersuchen das Laborspektrum von C_{60}^{+}, einem möglichen Trägermolekül bestimmter DIBs. Das kleine Bild rechts zeigt ein »bereinigtes« DIB-Spektrum ohne die zusätzlichen Absorptionslinien des Sterns oder der Erdatmosphäre. <<

didaten beschäftigt, ist die von Benjamin McCall an der University of Illinois. Sein Team ist gegenwärtig damit beschäftigt, das Spektrum des ionisierten Moleküls C_{60}^+ zu ermitteln, das eine fußballähnliche Form hat und ein heißer Kandidat für zwei DIBs im nahen Infrarot ist. Um diese Ionen herzustellen, erhitzen die Wissenschaftler in einem Ofen neutrales Fulleren, C_{60}, in seinem festen Zustand auf 650 Grad Celsius. Es verdampft, das entstehende Gas dehnt sich aus und gelangt durch eine winzige Öffnung in eine Vakuumkammer. Dabei kühlen die Moleküle auf minus 243 Grad ab, was in etwa den Temperaturen im interstellaren Weltraum entspricht. Zuvor wird das Gas durch eine Hochspannungsentladung ionisiert – ähnlich wie in einer Neonröhre –, und dabei entsteht C_{60}^+.

McCalls Forschungsgruppe verwendet dann eine ausgeklügelte Technologie auf Laserbasis, die »Cavity Ringdown«-Spektroskopie, um Absorptionslinien zu untersuchen: Zwei besonders gut reflektierende Spiegel werden so aufeinander ausgerichtet, dass zwischen ihnen ein Hohlraum entsteht, der die potenzielle DIB-Trägersubstanz enthält – in diesem Fall C_{60}^+.

Laserlicht mit regelbarer Wellenlänge wird nun von hinten durch einen der Spiegel geleitet und dann zwischen den Spiegeln hin- und hergeworfen. Dadurch legt der Laserstrahl im Hohlraum mehrere Kilometer innerhalb des Gases zurück. Wenn die Forscher die Wellenlänge des Lasers verändern, variiert auch der Grad, in dem das Licht vom Gas gedämpft wird, und das Absorptionsvermögen des DIB-Kandidaten wird auf diese Weise gewissermaßen »abgetastet«.

Komissar Zufall – bitte kommen!

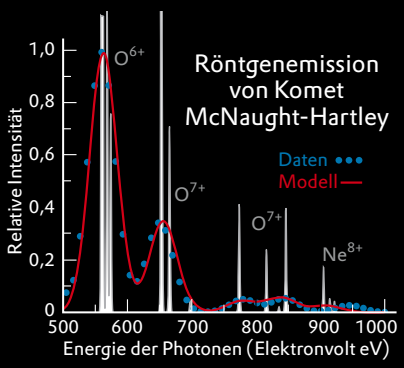
Überall auf der Welt werden ähnliche Laborexperimente mit möglichen interstellaren Molekülen durchgeführt. Doch trotz des enormen Aufwands sowohl auf Seiten der Laborwissenschaftler als auch der Astronomen blieb die Suche nach den Stoffen, die DIBs erzeugen, bis heute erfolglos.

▶ **Fall 2** – Röntgenstrahlung von Kometen. Einer der spannendsten Aspekte der Astronomie ist wohl die Entdeckung unvorhergesehener Phänomene. Ein Beispiel: Seit den 1950er Jahren wissen wir, dass Kometen Klumpen aus Eis und Staub sind, die auf lang gezogenen Bahnen um die Sonne kurven (AH Mai 2004, S. 28). Wir können sie sehen, weil sie das Sonnenlicht reflektieren. Niemand hätte erwartet, dass derart kalte Objekte energiereiche Röntgenstrahlung aussenden – denn diese ist normalerweise ein sicheres Zeichen für hohe Temperaturen. Doch genau das beobachtete ein Team um Carey Lisse von der Johns Hopkins University in Baltimore 1996 mit dem Satelliten Rosat beim Kometen Hyakutake (siehe Foto oben) während seines nahen Vorbeiflugs an der Erde. Seitdem haben die Astronomen auch bei vielen anderen Schweifsternen Röntgenstrahlung entdeckt.

Ihr Ursprung war anfangs ein Mysterium. Röntgenstrahlung wird normalerweise von Materie geschluckt oder durchgelassen – Reflexion oder Streuung spielen so gut wie gar keine Rolle. Außerdem war die beobachtete Intensität viel zu stark, als dass sie durch reine direkte Reflexion der Röntgenstrahlung von der Sonne zu erklären wäre.

Den Astronomen war klar, dass des Rätsels Lösung in den Spektren der Kometen zu suchen war. Doch die Instrumente an Bord von Rosat hatten nur geringe spektrale Auflösung. Die Fingerabdrücke, die der Satellit liefern konnte, waren für diesen Zweck einfach nicht gut genug.

1997 äußerte Tom Cravens von der University of Kansas die Vermutung, dass der Sonnenwind (AH Juli/August 2004, S. 24) etwas mit dem Phänomen zu tun haben könnte. Er besteht aus Elektronen, ionisiertem Wasserstoff und Helium sowie Spuren anderer ionisierter Elemente wie Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff. Der Strom kommt direkt von der Sonne. Cravens erkannte, dass jedes dieser Ionen gewissen Molekülen in der >



Heiße Strahlung von kalten Kometen? Wie soll es möglich sein, dass eisige Schweifsterne wie Hyakutake (großes Foto rechts) und McNaught-Hartley (Diagramm) hochenergetische Röntgenstrahlung aussenden? Die Erklärung liegt in Wechselwirkungen mit den schnellen Ionen des Sonnenwinds. Auf Basis dieses Mechanismus erzielen Laborastrophysiker und Theoretiker wie Vasili Kharchenko, Alex Dalgarno und Kate Kirby (oberes Foto, v. l. n. r.) eine viel versprechende Übereinstimmung zwischen dem Modell (rote Kurve) und Daten von Chandra (blaue Punkte).

OBEN: HARVARD-SMITHSONIAN CFA; DIAGRAMM: S & T, NACH: VASILI KHARCHENKO ET AL., ASTROPHYSICAL JOURNAL; RECHTS (HYAKUTAKE): AKIRA FUJII

> Koma eines Kometen – etwa neutralem Wasser oder Kohlendioxid – ein Elektron entreißen könnte. Diese Elektronen würden zwar von den Atomen wieder eingefangen, landeten jedoch zunächst auf Bahnen, die weit weg vom Atomkern liegen. Aus diesen äußeren Bereichen würden sie dann weiter »nach innen springen« und dabei Röntgenphotonen aussenden.

Bald darauf berechneten Vasili Kharchenko und Alex Dalgarno vom Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CfA) in Cambridge, Massachusetts, die ersten theoretischen Röntgenspektren auf der Grundlage eines solchen Sonnenwind-Elektroneneinfangs. Sie ermittelten, wo in den Atomen die Elektronen dabei landen, mit welchen »Sprüngen« sie anschließend weiter nach innen hüpfen und welche Wellenlängen die resultierende Röntgenstrahlung haben sollte.

Satelliten-Interpol

1999 wurden die beiden Röntgen-Satelliten Chandra und XMM-Newton von Nasa und Esa gestartet. Diese Satelliten waren mit Spektrometern ausgestattet, deren Auflösung ausreichte, um die Fingerabdrücke klar sichtbar zu machen.

Mit zusätzlichem Archivmaterial vom Extreme Ultraviolet Explorer (EUV) und theoretischen Modellen konnte das Rätsel der Kometen schließlich gelöst werden: Die Quelle ihrer Röntgenstrahlung war tatsächlich der Sonnenwind.

So weit, so gut – aber da gab es immer noch auffällige Unterschiede zwischen beobachteten und errechneten Kometenspektren. Erklärbar wäre das mit einer Unvollständigkeit der Modelle. Trifft dies zu, könnte man die Unterschiede nutzen, um komplexere und damit genauere Modelle zu entwickeln. Doch die Ursache könnten auch Fehler im verwendeten atomaren Datenmaterial sein.

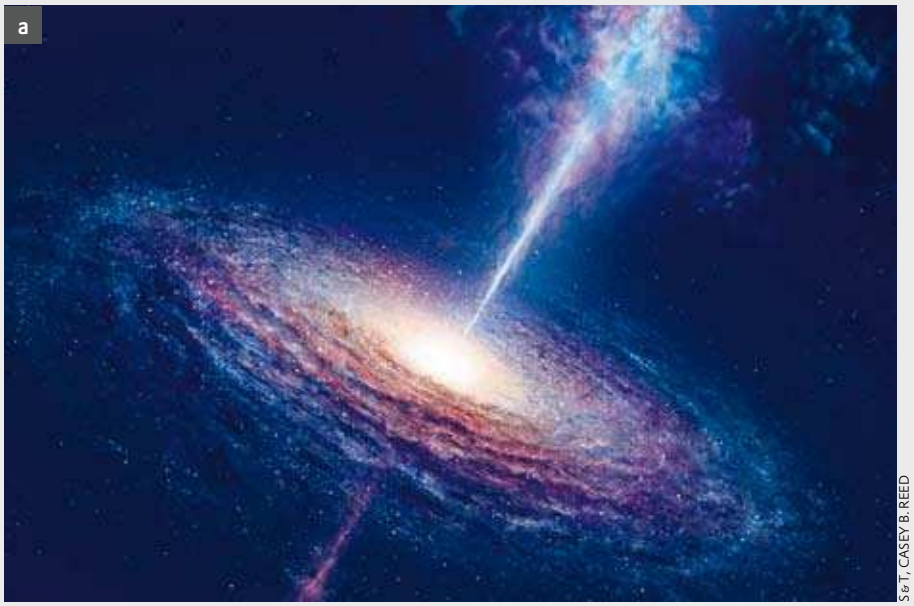
Eine der Forschergruppen, die sich der Herausforderung stellten, die theoretischen Atomdaten experimentell zu eichen, war jene von Ara Chutjian am Jet Propulsion Laboratory der Nasa (JPL) in

Aktive Galaktische Kerne

In den strahlend hellen Kernen aktiver Galaxien (a) verbergen sich supermassereiche Schwarze Löcher. Der Großteil der energiereichen Strahlung dieser AGNs (Active Galactic Nuclei) wird in entgegengesetzt gerichtete Jets gebündelt, die sowohl aus Strahlung als auch aus schnellen Teilchen bestehen. Ihre Röntgenspektren sind extrem komplex. Ein AGN ist von derartig hoher Leuchtkraft, dass er die mehrere hundert Milliarden Sterne seiner Muttergalaxie überstrahlen kann.

Der Test Storage Ring am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg (b, c und d) ist das ideale Instrument, um die Zusammenstöße von Atomen in AGNs zu untersuchen. Um die Rekombination von Elektronen bei niedrigen Energien zu studieren, werden Ionen eingeleitet (b, rechts unten) und dann im Uhrzeigersinn entlang dem 55 Meter langen Ring geführt und gebündelt. Die orangefarben lackierten Dipolmagnete biegen den Strahl, die roten Quadrupolmagnete (Foto b) fokussieren ihn. Unter dem Gerüst links im Bild findet der Einschuss des Elektronenstrahl statt.

Das Chandra-Röntgenspektrum der aktiven Galaxie NGC 3783 (e) zeigt zahlreiche Absorptionslinien von ionisierten Sauerstoff-, Neon-, Magnesium- sowie Eisenatomen. Das beobachtete Absorptionsspek-trum (blau) wird vom Labormodell (rot) gut wiedergegeben – mit Ausnahme des Bereichs zwischen 1,5 und 1,7 Nanometern, wo das Modell noch unsicher ist.



S & T, CASEY B. REED

MPI FÜR KERNPHYSIK, HEIDELBERG

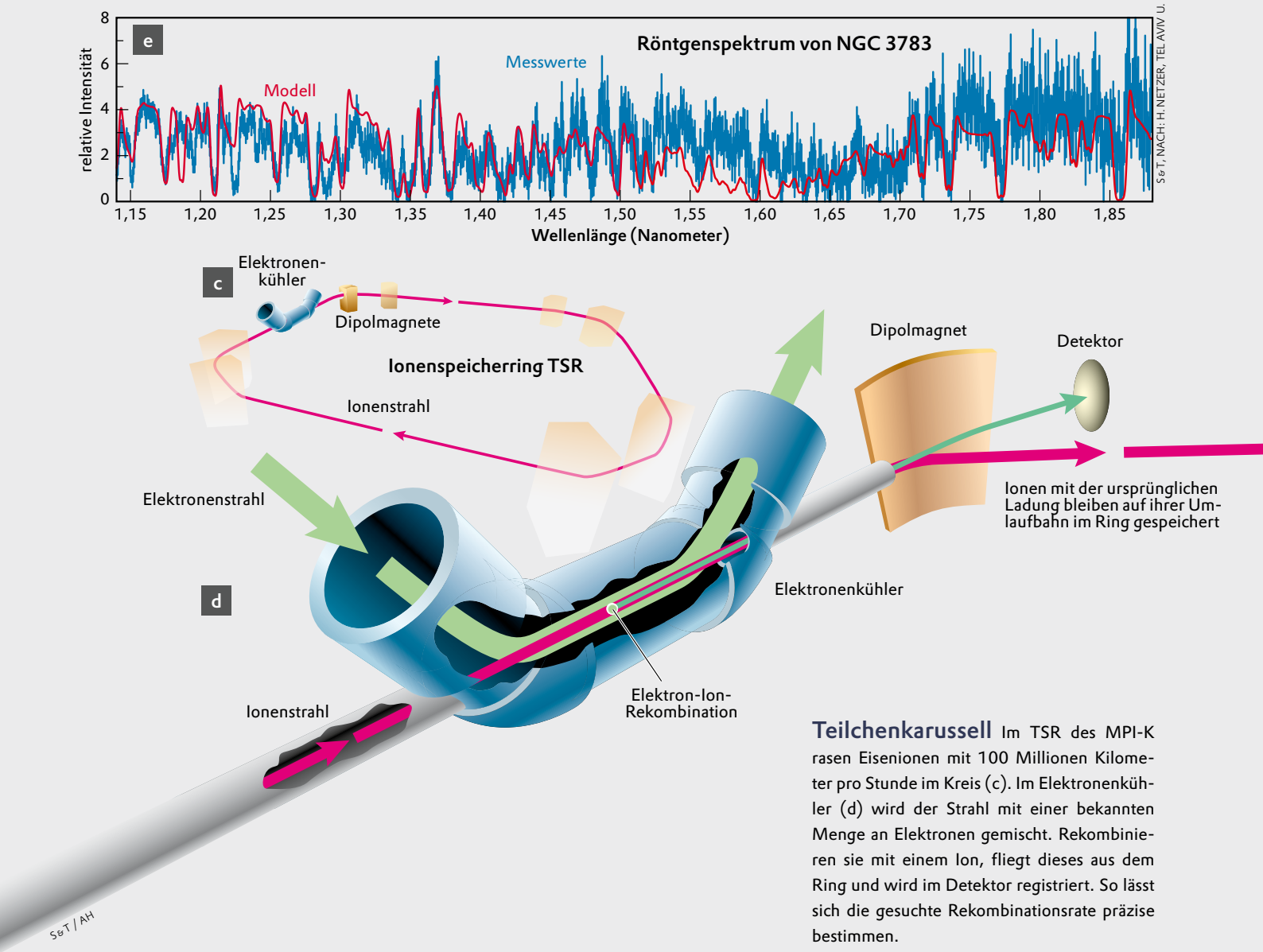
Kalifornien. Die Grundlage für ihre Experimente bildete ein Mikrowellengenerator ganz ähnlich jenen, die in Mikrowellenherden verwendet werden. Die Wissenschaftler erhitzten atomare Teilchen auf die typischen Temperaturen in der Sonnenatmosphäre und erhielten so Ionen, die jenen im Sonnenwind glichen.

Dann beschleunigten sie diese Ionen auf die Geschwindigkeit des Sonnenwinds: etwa dreihundert bis siebenhundert Kilometer pro Sekunde. Der so erzeugte Strahl wurde durch eine Zelle geleitet, die Wasser oder Kohlendioxid enthielt – also jene zwei Moleküle, die den Großteil aller von Kometen abdampfenden Stoffe ausmachen. Ein spezielles Instrument registrierte nun die Röntgenstrahlung, die durch den Elektroneneinfang erzeugt wurde. Die so gewonnenen Daten sind die Grundlage für eine Überprüfung der Theorien. Außerdem helfen sie den Astronomen dabei, die Linien in den Röntgenspektren der Kometen zu identifizieren.

Erfolgreiche Rasterfahndung

Durch Kombination theoretischer Berechnungen und Labordaten konnten die Wissenschaftler Modelle erstellen, die die Röntgenspektren der Kometen recht gut erklären. Die Übereinstimmung ist noch nicht perfekt, und es gibt immer noch einige Probleme; doch die Forscher sind auf diese Art einem völlig neuen Weg, Röntgenlicht zu erzeugen, auf die Spur gekommen. So scheint der Sonnenwind-Elektroneneinfang auch für einen Teil der energiereichen Strahlung verantwortlich zu sein, die von Mars, Jupiter oder der Erde selbst stammt. Der Prozess ist im Sonnensystem stärker verbreitet als ursprünglich vermutet. Künftige Röntgenteleskope, verbesserte Rechnungen und eine größere Anzahl an Labormessungen könnten unter Umständen einmal die Untersuchung des Sonnenwinds auf Grundlage der Röntgenspektren der Kometen ermöglichen.

▶ **Fall 3** – Aktive Galaktische Kerne. Die experimentelle Astrophysik aus dem La- >



Teilchenkarussell Im TSR des MPI-K rasen Eisenionen mit 100 Millionen Kilometer pro Stunde im Kreis (c). Im Elektronenkühler (d) wird der Strahl mit einer bekannten Menge an Elektronen gemischt. Rekombinieren sie mit einem Ion, fliegt dieses aus dem Ring und wird im Detektor registriert. So lässt sich die gesuchte Rekombinationsrate präzise bestimmen.

Wissen Sie, welche Vorteile ein Abo hat?

Abonnieren

>>> Sie zahlen im Inland nur € 56,– für das Jahresabonnement von ASTRONOMIE HEUTE (10 Ausgaben). Als Schüler, Student, Azubi, Wehr- oder Zivildienstleistender zahlen Sie auf Nachweis sogar nur € 50,–.

>>> Unter *www.astronomie-heute.de/archiv* haben Sie freien Online-Zugriff auf alle Hefte im Volltext seit der Erstausgabe.

>>> Für Ihre Bestellung bedanken wir uns mit einem Präsent Ihrer Wahl.

Empfehlen

Sie haben uns einen neuen Abonnenten vermittelt? Dann haben Sie sich eine Dankesprämie verdient und können zwischen folgenden Geschenken wählen:

Jahresabo spektrum**direkt**.
Die tägliche Wissenschaftszeitung im Internet mit über 16 000 Archivartikeln und vielen Links

Das Buch »Vom Regenbogen zum Polarlicht« erklärt verständlich die faszinierenden Leuchterscheinungen in der Atmosphäre

Die iTunes-Musikkarte im Wert von € 25,– für den Musicstore von Apple

Verschenken

Verschenken Sie ein Jahr Lesevergnügen! Das erste Heft des Abonnements verschicken wir mit einer Grußkarte in Ihrem Namen.

>> Abonnieren und profitieren Sie gleich unter: www.astronomie-heute.de/abo

Spektrum DER WISSENSCHAFT Wissen aus erster Hand

Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH | Slevogtstraße 3–5 | 69126 Heidelberg | Tel 06221 9126-743 | Fax 06221 9126-751
service@spektrum.com

> bor hilft uns auch dabei, das Wesen Schwarzer Löcher zu verstehen. Diese Objekte gehören zu den wohl exotischsten, die man kennt. Sie verbiegen die Raumzeit und erzeugen dabei jede Menge Röntgenstrahlung. Teilchen werden in ihre Schwerkraftstrudel gezogen, wirbeln auf das Loch zu und strahlen dabei energiereiche Photonen ab. Die intensive Strahlung trifft auf das umgebende Material und entreißt den Atomen ihre Elektronen – ein Gas aus freien Elektronen und Ionen entsteht. Um die unmittelbare Umgebung eines Schwarzen Lochs zu verstehen, braucht man also exaktes Wissen um die Wechselwirkungen zwischen Elektronen und Ionen.

Extrem massereiche Schwarze Löcher verbergen sich in den Zentren aktiver Galaxien – wie Quasare oder Blazare. Diese Aktiven Galaktischen Kerne (AGNs, von: Active Galactic Nuclei, siehe Kasten auf S. 32) senden so viel und so energiereiche Strahlung aus, dass sie manchmal das Licht der Galaxien, die sie beherbergen, überstrahlen – und das sind jeweils hunderte Milliarden Sterne.

Die Röntgen-Satelliten Chandra und XMM-Newton gewährten den Astronomen wichtige Einblicke in die extremen Bedingungen, die nahe den AGN-Zentren herrschen. So zeigen von beiden Satelliten aufgenommene Spektren beispielsweise mysteriöse Strukturen in den Winden, die man in der Umgebung der zentralen Schwarzen Löcher beobachtet. Doch wir können die physikalischen Eigenschaften dieser Regionen nur schwer berechnen, da wir über jene Elektron-Ion-Kollisionen, die die beobachteten Spektren erzeugen, nur wenig wissen.

Neueste Röntgenbeobachtungen lassen darauf schließen, dass das Eisen in den AGN-Winden weniger stark ionisiert ist als bisher angenommen. Komplexe Computermodelle sind aber unsere einzige Möglichkeit, auf Grundlage der AGN-Messungen das Gleichgewicht zwischen Ionisation und Rekombination zu berechnen. Dieses Gleichgewicht bestimmt nämlich den mittleren Ionisationsgrad des Gases.

Hagai Netzer von der Tel Aviv University hat kürzlich die Theorie vorgestellt, dass die Annahme zu niedriger Rekombinationsraten des Eisens für die Unterschiede zwischen den Beobachtungen und den Modellen verantwortlich sein könnte. Berücksichtigte man dies in den Modellen, so würden sie besser mit den Beobachtungen übereinstimmen.

Die meisten verwendeten Rekombinationsraten gehen auf Ergebnisse quantenmechanischer Rechnungen zurück. Doch mehr als achtzig Jahre nach den fundamentalen Arbeiten von Heisenberg, Schrödinger und Co. können theoretische Atomphysiker viele Kollisionsprozesse heutzutage immer noch nicht verlässlich berechnen. Dies demonstriert eindrucksvoll die Komplexität der modernen Physik – und zeigt ebenso, wie wichtig verlässliche Messwerte aus dem Labor sind, um die theoretischen Resultate zu überprüfen.

Mit Hilfe von Anlagen wie dem Speicherring für schwere Ionen (»Testspeicherring«, TSR) am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg (MPI-K) untersuchen experimentelle Astrophysiker direkt hier auf der Erde die gleiche Art von Kollisionen, wie sie in AGNs vorkommen. Die Forschung am TSR ist eine Zusamenarbeit der Gruppen um Andreas Wolf vom MPI-K, Alfred Müller von der Uni Gießen und Daniel Wolf Savin von der Columbia University, New York City. In dem TSR-Experiment (Foto S. 32 und Grafiken S. 33) wird zunächst ein Strahl negativ geladener Eisenionen beschleunigt und durch eine dünne Folie geleitet. Die Kollisionen innerhalb der Folie entreißen den Eisenatomen Elektronen, wodurch ein Strahl positiv geladener Eisenionen entsteht. Je mehr Elektronen dabei verloren gehen, desto höher ist der Ionisationsgrad des Eisens.

Der Strahl wird dann mit einer Geschwindigkeit von etwa zehn Prozent der Lichtgeschwindigkeit in den TSR eingeleitet. An einem bestimmten Abschnitt treffen die Ionen auf einen Elektronenstrahl, mit dem sie sich entlang einer Strecke von etwa eineinhalb Metern vermischen. Und genau dort passieren Zusammenstöße zwischen Elektronen und Ionen, die jenen in AGNs gleichen.

Mit dem TSR können die Wissenschaftler nun die grundlegenden Rekombinationsraten für Eisen bestimmen. Jüngste Messungen zeigen, dass die bisher verwendeten theoretischen Raten offenbar wirklich zu niedrig sind. Die aktuellen Ergebnisse aus dem Labor können nun in die Modelle eingepflegt werden und so zu einem besseren Verständnis der Umgebung der zentralen Schwarzen Löcher beitragen.

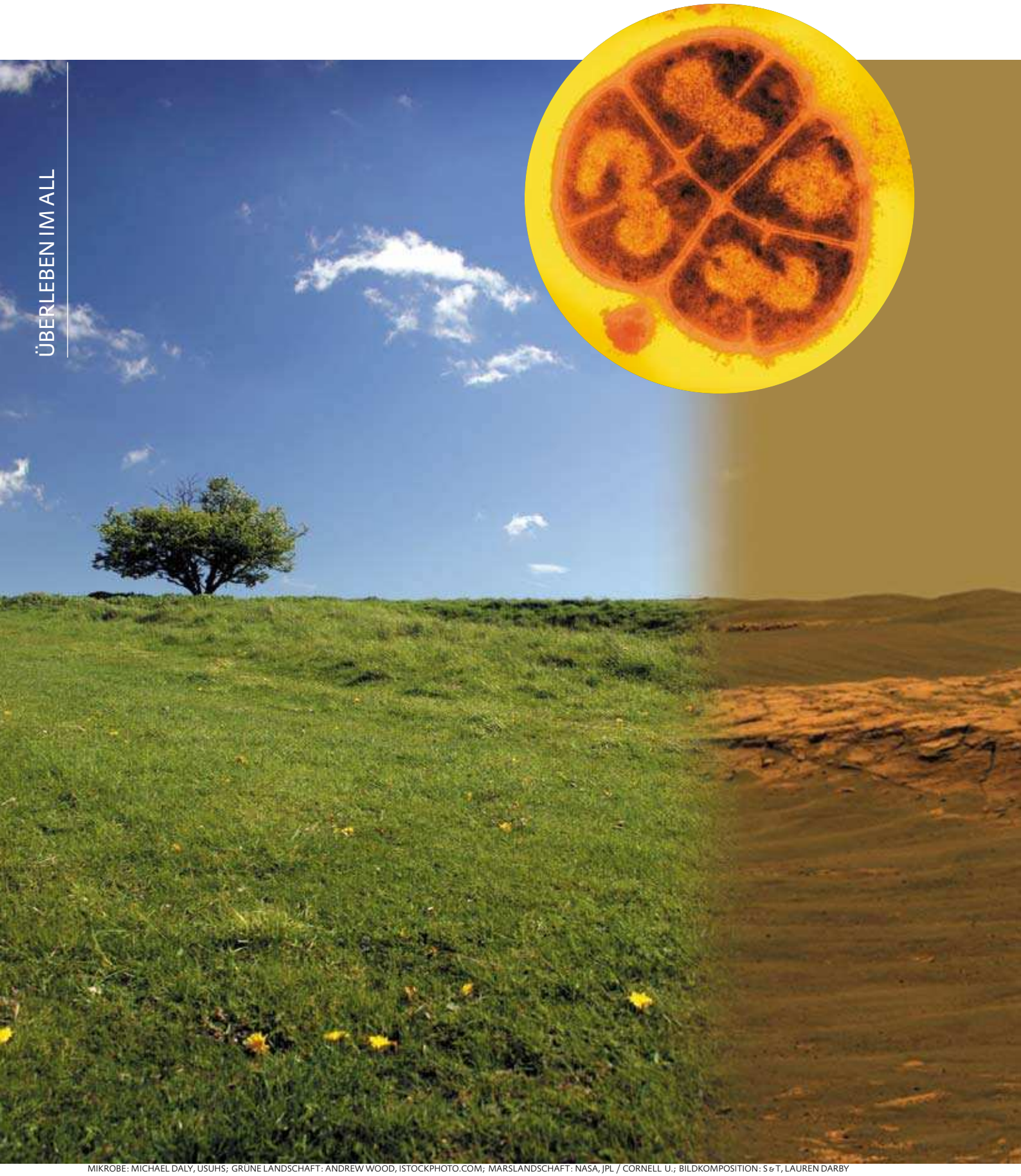
Mit jeder neuen Teleskop- und Detektorgeneration verbessern sich sowohl die räumliche als auch die spektrale Auflösung. Schon allein deshalb muss man jene physikalischen Prozesse, die den beobachteten Spektren zu Grunde liegen, immer besser und genauer verstehen. Die Laborastrophysik ist ein interdisziplinäres Feld, das Bereiche der Physik, Chemie und Astronomie umfasst. Sie ist die Grundlage für viele Aspekte der Astronomie. Leider haben Kürzungen der Fördermittel die dafür vorgesehenen Budgets drastisch eingeschränkt, und das gefährdet dringend benötigte Forschungen auf diesem wichtigen Gebiet.

Neueste Messungen vom TSR zeigen, dass die bisher verwendeten theoretischen Werte offenbar wirklich zu niedrig sind!

Wir werden auch künftig mit immer neuen kosmischen Rätseln konfrontiert werden. Das wird besonders deutlich, wenn man bedenkt, dass wir immer weiter in den Kosmos hinaussehen – dank neuer, kostspieliger Observatorien sowohl auf der Erde als auch in der Erdumlaufbahn. Doch nur durch kontinuierliche Investitionen in die Laborastrophysik werden die Astronomen dafür gerüstet sein, diese Rätsel zu lösen und das bestmögliche wissenschaftliche Verständnis aus ihren Beobachtungen zu gewinnen. <<

Daniel Wolf Savin ist Physiker an der Columbia University. Er studiert die Wechselwirkungen zwischen Elektronen und Ionen in AGNs. **Benjamin J. McCall** ist Chemiker und Astronom an der University of Illinois. Sein Spezialgebiet ist die Erstellung laserbasierter Spektren potenzieller DIB-Träger und anderer Moleküle. **Kate Kirby** ist theoretische Physikerin am Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics und untersucht die Röntgenemissionen von ionisierten Plasmen.

Links und Verweise zu diesem Artikel unter
astronomie-heute.de/artikel/869916



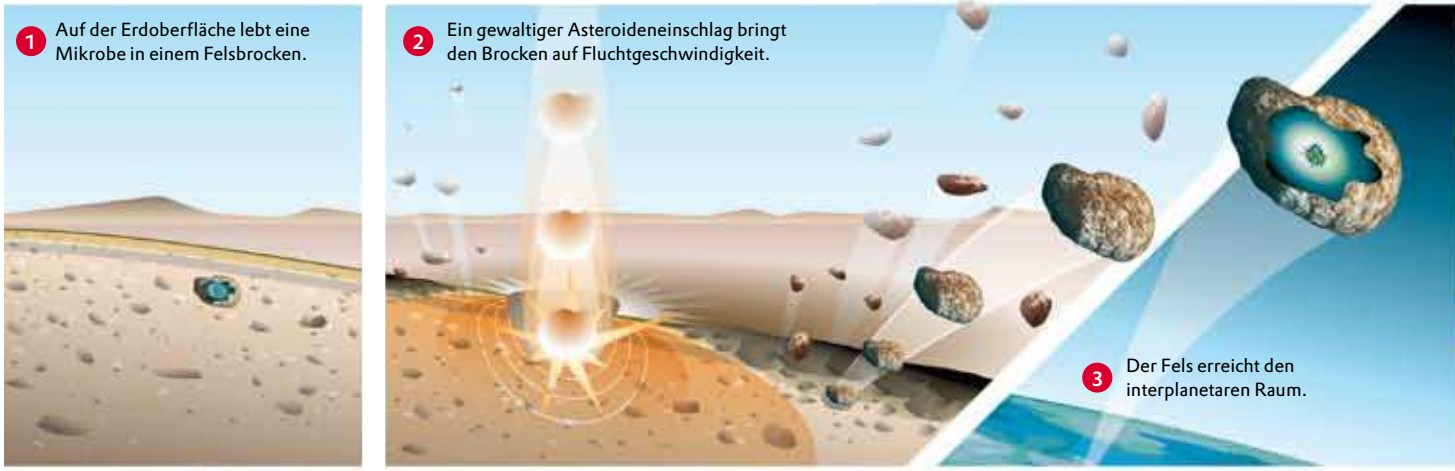
MIKROBE: MICHAEL DALY, USUHS; GRÜNE LANDSCHAFT: ANDREW WOOD, ISTOCKPHOTO.COM; MARSLANDSCHAFT: NASA, JPL / CORNELL U.; BILDKOMPOSITION: S & T, LAUREN DARBY

Per Anhalter durchs Sonnensystem

Gewaltige Meteoriteneinschläge schleudern immer wieder irdische Mikroben ins All. Leben manche Bakterien noch, wenn sie fremde Himmelskörper erreichen?

>> Selby Cull

Überlebenskünstler Sollten irgendwelche Erdbewohner sich auf anderen Himmelskörpern angesiedelt haben, dann vermutlich solche wie Deinococcus radiodurans (rundes Bild). Diese Mikroben sind die strahlenresistentesten Bakterien, die wir kennen. Im Innern eines Felsklumpens könnten sie Jahrmillionen im Weltraum überdauern. Deinococcus radiodurans erhielt den Spitznamen »Conan, das Bakterium«, denn es übersteht außer Strahlen auch extreme Hitze und Kälte, Wassermangel und Säureeinwirkung.



Vor 65 Millionen Jahren krachte ein riesiger Asteroid auf die mexikanische Halbinsel Yukatan. Im Umkreis von 200 Kilometern verdampfte sämtliches Leben. Rings um diese Todeszone wurde in einem 300 Kilometer breiten Gürtel fast alles verbrannt, zermalmt oder erstickt. Der Aufprall schleuderte Billionen Tonnen von Staub und Schutt in die Atmosphäre, die Sonne verdunkelte sich. Die Hälfte aller Tierarten verschwand von der Erde, darunter die Dinosaurier. Aber das war noch nicht alles, was der Meteorit anrichtete.

Sein Einschlag, der den 200 Kilometer großen Chicxulub-Krater hinterließ, katapultierte vermutlich mehr als eine Milliarde Gesteinsbrocken ins All. Brett Gladman von der University of British Columbia, Kanada, und seine Kollegen berechneten, dass die großen Gasplaneten wie Jupiter oder Saturn etwa ein Drittel jener Trümmer aus unserem Sonnensystem herausgeschleudert haben. Hunderte Millionen weitere fielen in den folgenden Jahrmillionen wieder auf die Erde zurück. Doch die übrigen blieben im interplanetaren Raum.

Vor dem Einschlag hatten diese Miniasteroiden jahrtausendelang auf der Erde gelegen. Viele von ihnen waren durchdrungen von Bakterien und anderen Mikroorganismen. Auf ihrem Flug durchs Sonnensystem führten die Felsbrocken jene Organismen mit sich und brachten sie vielleicht zu anderen Planeten oder Monden.

Diese einleuchtende Idee kehrt die Panspermie-Hypothese um, der zufolge das Leben irgendwo außerhalb unseres Planeten entstand und später hierherverfrachtet wurde (siehe AH Juni 2005, S. 54). Zwar können wir nicht beweisen, dass irdisches Leben andere Planeten erreicht hat. Doch verschiedene Forschungsergebnisse legen nahe, dass das wirklich passiert sein könnte. Innerhalb von fünf Millionen Jahren nach dem verheerenden Chicxulub-Einschlag fielen vermutlich hunderte Gesteinsbrocken von der Erde auf den Mars, auf den Jupitermond Europa und auf den Saturnmond Titan. Diese Himmelskörper bieten relativ günstige Bedingungen für extraterrestrisches Leben. Und sie wurden nicht erst nach dem Chicxulub-Ereignis, sondern seit Beginn unseres Sonnensystems mit Gesteinsmaterial von der Erde bombardiert.

Könnten irdische Bakterien die Reise zu anderen Himmelskörpern überlebt haben? Gedeihen sie dort noch heute?

Reise zum Titan: eine Anleitung

Zu einem fremden Planeten zu gelangen ist nicht so schwer. Unternehmen Sie dazu einfach die folgenden Schritte.

Zunächst: Sie sollten ein Bakterium sein. Und zwar am besten von einer Art, die Endosporen bildet – extrem widerstandsfähige Überdauerungsformen mit mehrschichtigen Hüllen und niedrigem Wassergehalt, die viele Millionen Jahre lang lebensfähig bleiben können.

Jetzt wird es unangenehm. Lassen Sie sich mittels eines Meteoriteneinschlags ins All schleudern. Der Aufprall sollte so gewaltig sein, dass er Felsbrocken mit mindestens zehn Zentimeter Durchmesser in den Kosmos befördert. Das ist wichtig für später: Sie brauchen ein paar Fingerbreit Gestein um sich herum, damit die kosmischen Strahlen nicht Ihre DNA zerstören.

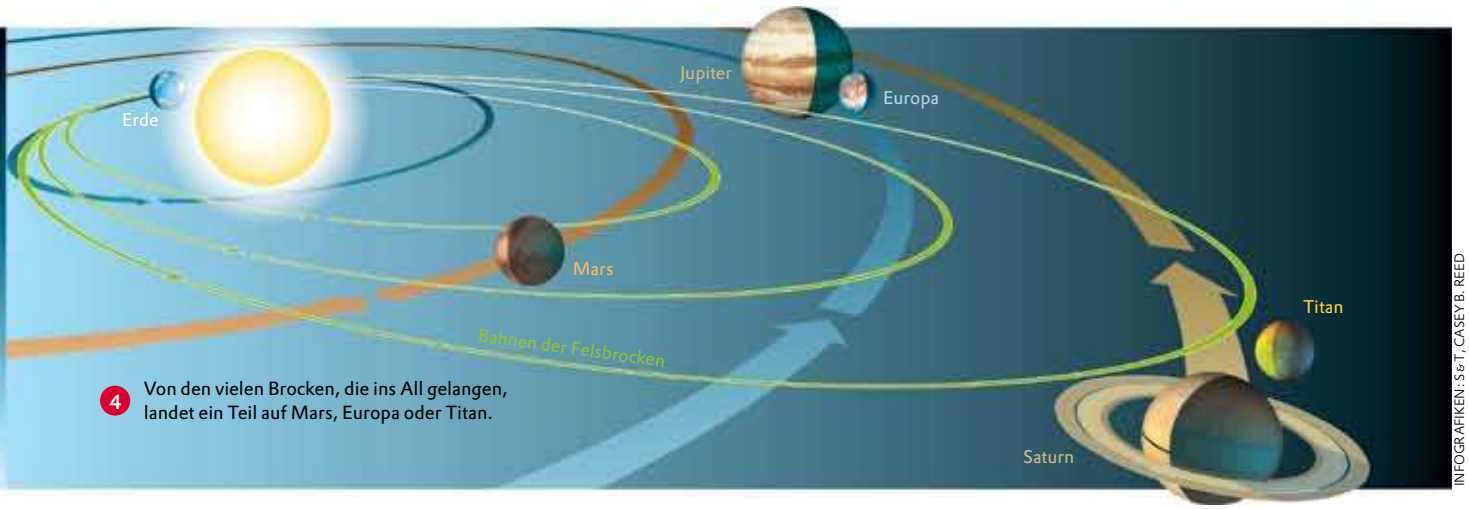
Kollisionen eines solchen Kalibers hinterlassen mehr als hundert Kilometer große Krater und lösen Massensterben aus. Die Temperaturen am Aufschlagort erreichen 2700 Grad Celsius und mehr – das ist heiß genug, um Nickel zum Ko-

GLOSSAR

Deinococcus radiodurans: Eine Bakterienart, die gegen ionisierende Strahlung nahezu immun ist. Erst bei einer Dosis von mehr als 10 000 Gray stirbt die Hälfte der bestrahlten Exemplare. Zum Vergleich: Menschen haben ab einer Dosis von 50 Gray praktisch keine Überlebenschance mehr. Deinococcus radiodurans ist weit verbreitet und gedeiht unter widrigsten Lebensbedingungen, unter anderem in der Antarktis.

Kosmische Strahlung: Hochenergetische Strahlung aus dem Weltraum, die vor allem aus Masseteilchen (Protonen, Elektronen, Atomkernen) besteht. Daneben gibt es die Kosmische Gammastrahlung, die sich aus energiereichen Photonen zusammensetzt. Photonen haben eine Ruhemasse von null und zählen daher nicht zu den Masseteilchen.

Panspermie: Eine Hypothese, die besagt, dass sich einfache Lebensformen über große Entfernungen durchs All bewegen, wodurch einst das Leben auf die Erde kam. »Panspermie« ist griechisch und bedeutet wörtlich etwa »All-Saat«. Der reversen Panspermie zufolge verbreitete sich das Leben von der Erde aus auf andere Himmelskörper.



4 Von den vielen Brocken, die ins All gelangen, landet ein Teil auf Mars, Europa oder Titan.

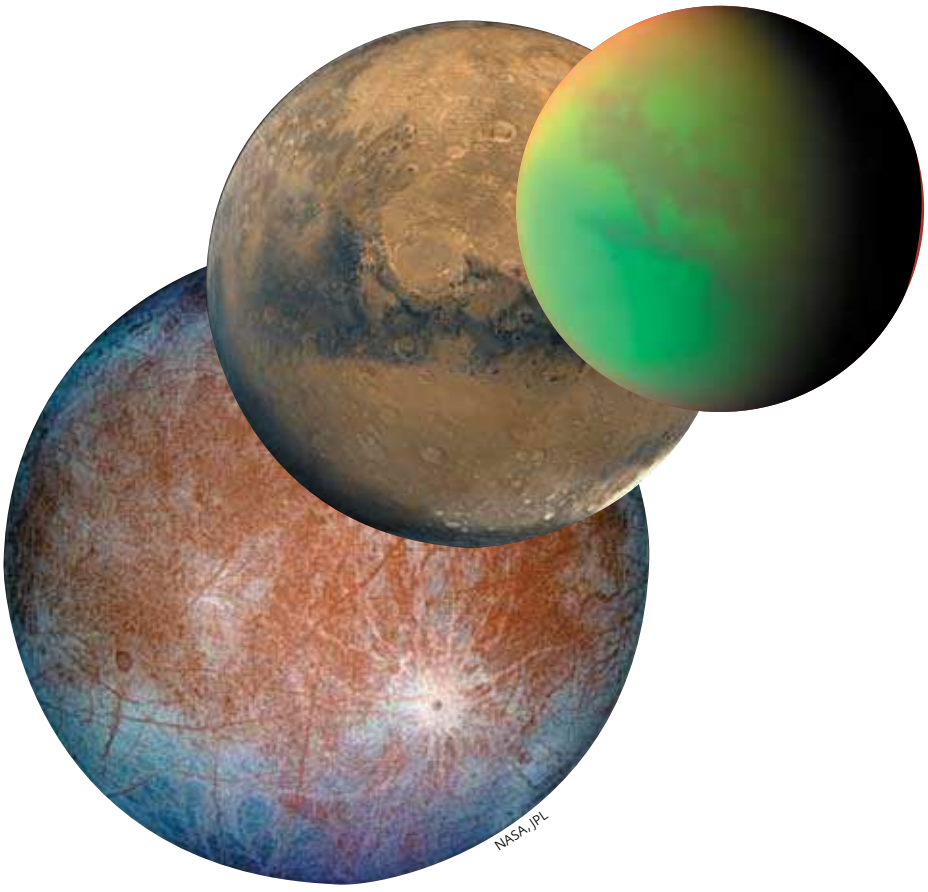
INFOGRAFIKEN: S e T, CASEY B. REED

chen zu bringen. Der Aufpralldruck ist ebenfalls gewaltig, er übersteigt den Wasserdruck am Grund des Marianengrabens um das Hunderttausendfache. Zum Glück befinden Sie sich am Rand dieser apokalyptischen Szene, im Innern eines Felsbrockens, wo Sie sich – durch winzige Gesteinsspalten kriechend – schon vor langer Zeit hinbegeben haben. Nun kommt es zu einer Verkettung von Ereignissen, die dazu führt, dass Ihr Stein abhebt, ohne dabei allzu sehr der Hitze oder dem Druck ausgesetzt zu sein.

Zunächst dringt der aufprallende Meteorit in den Untergrund und explodiert in der Tiefe. Eine gewaltige Druckfront breitet sich in alle Richtungen aus, erhitzt das Gestein und schmilzt es. Wenn ihre schnellsten Ausläufer die Oberfläche erreichen, breiten sie sich nicht weiter aus, sondern werden zurück nach unten reflektiert. Dort treffen sie auf die nachfolgenden Druckwellen und werden von ihnen neutralisiert, wodurch das Gestein an der Oberfläche unversehrt bleibt. Allerdings entsteht eine riesige Druckdifferenz zwischen dem Boden und der darüberliegenden Atmosphäre. Sie katapultiert Ihren Felsbrocken himmelwärts und bringt ihn auf Fluchtgeschwindigkeit.

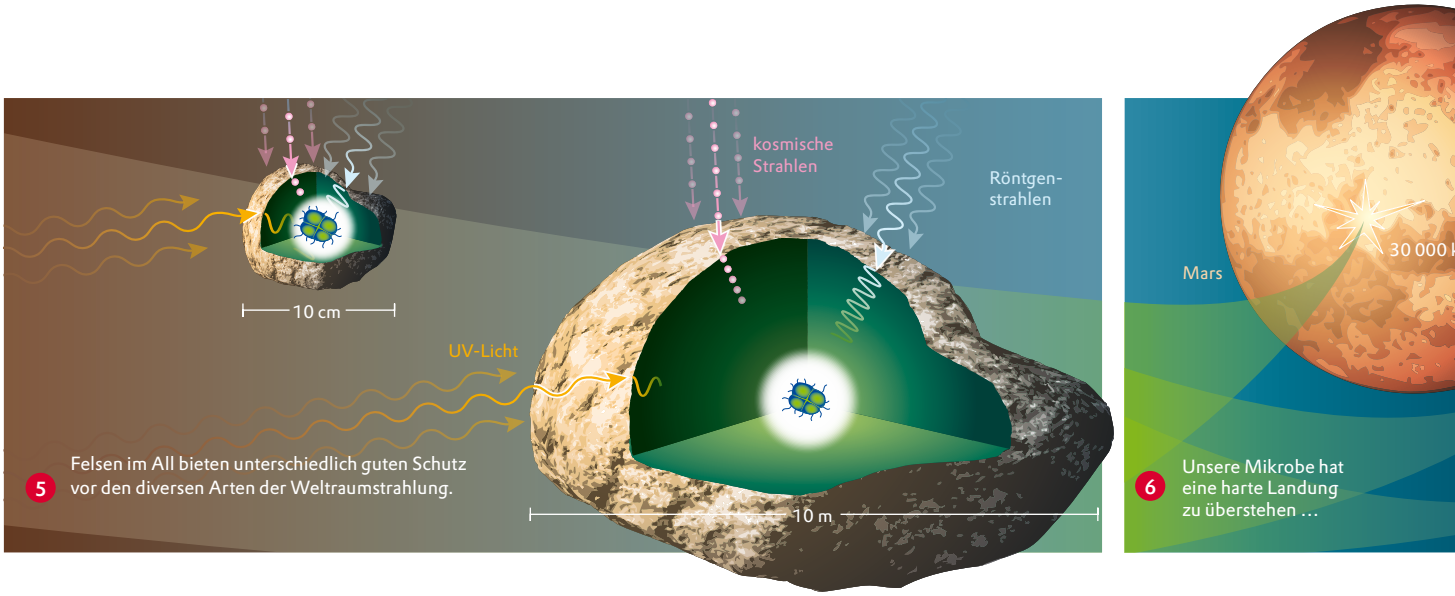
Auch wenn Ihr Start bei niedrigen Temperaturen und Drücken erfolgt, kann von Flugkomfort nicht die Rede sein: Sie müssen die zweimillionenfache Erdbeschleunigung (2 000 000 g) aushalten. Ein solch entsetzlicher Stoß bedeutet für die meisten Lebewesen den sicheren Tod.

Ein Mensch hätte nicht die geringste Überlebenschance. Doch Mikroben sind solchen Kräften gewachsen, wie Forscher um den Astrobiologen Mark Burchell von der University of Kent, England, herausfanden. Sie feuerten gewöhnliche Bodenbakterien mit einer Hochgeschwindigkeitskanone in ein Gel. Dabei wurden diese auf fast 2 000 000 g beschleunigt – genug, um die Erde zu verlassen. Erstaunlicherweise überlebte eine von 100 000 Mikroben. Das klingt nach nicht besonders viel, doch bedenken Sie, dass bereits ein Fingerhut voll Erde etwa eine Milliarde Bakterien beherbergt. >



NASA, JPL

Europa, Mars und Titan (von links nach rechts, nicht maßstabsgetreu) bieten nach derzeitigem Wissensstand die besten Voraussetzungen für außerirdisches Leben. Doch wenn wir dort Leben finden, muss es nicht unbedingt extraterrestrischen Ursprungs sein. Mikrobenbeladene Felsbrocken von der Erde schlagen seit Jahrmilliarden auf diesen Himmelskörpern ein.



5 Felsen im All bieten unterschiedlich guten Schutz vor den diversen Arten der Weltraumstrahlung.

6 Unsere Mikrobe hat eine harte Landung zu überstehen …

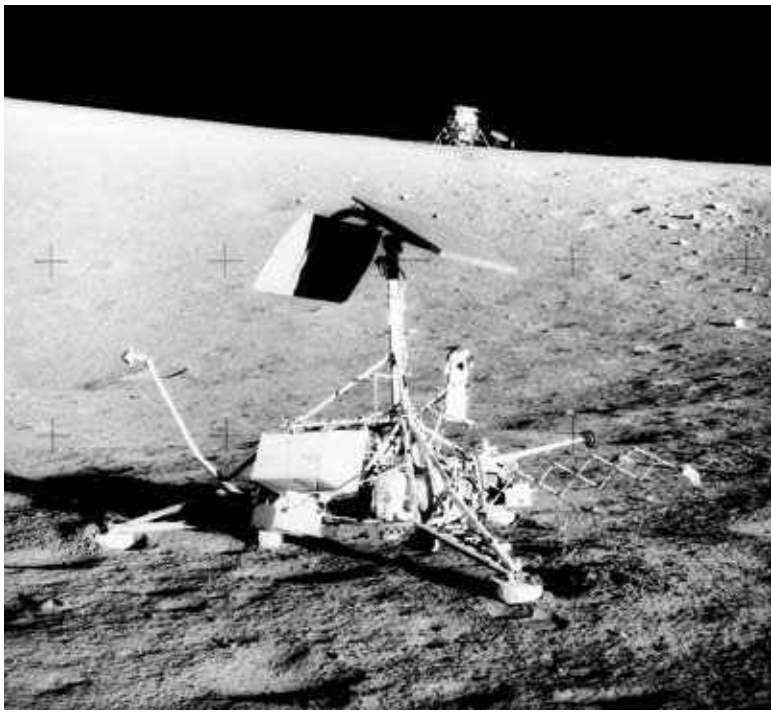
> Nehmen wir also an, Sie haben die mörderische Beschleunigung zu Beginn Ihrer Reise überstanden. Dank des Gesteins, das Sie umgibt, haben Sie auch die Hitze der Luftreibung überlebt, während Ihr Felsbrocken ein paar Sekunden lang durch die Erdatmosphäre raste (Untersuchungen am Marsmeteoriten ALH 84001, der etwa 7,5×10×15 Zentimeter misst, haben tatsächlich gezeigt, dass sein Inneres sowohl beim Wegkatapultieren vom Mars als auch beim Eintritt in die Erdatmosphäre nie wärmer wurde als 45 Grad Celsius, Anm. d. Red.). Nun treten Sie mit elf Kilometer pro Sekunde in die Leere des interplanetaren Raums ein – als winziger Passagier in einem Stein.

Bakterien im All sind von allerlei Gefahren bedroht. Ultraviolette, Röntgen-, Gamma- und kosmische Strahlung zerstören das Erbgut und andere empfindliche Bestandteile der Mikroben. Extreme Temperaturschwankungen zwischen Sonnenlicht und Schatten lassen die Mikroorganismen immer wieder erstarren beziehungsweise schmoren. Das in ihnen enthaltene Wasser gefriert und verdampft dabei in schnellem Wechsel.

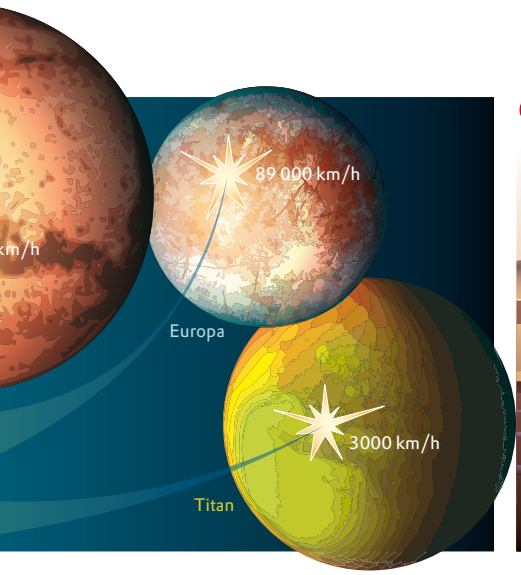
In kosmischen Gefilden

Es ist unglaublich, aber wahr: Manche Mikroben können solchen Bedingungen trotzen. Als die Apollo-12-Astronauten die Kamera der Mondlandesonde Surveyor 3 zur Erde zurückbrachten, hatten darin etwa hundert Streptococcus-mitis-Bakterien überlebt – nach zweieinhalb Jahren auf dem Mond! Und das, obwohl diese Bakterien noch nicht einmal die Endosporenform angenommen hatten.

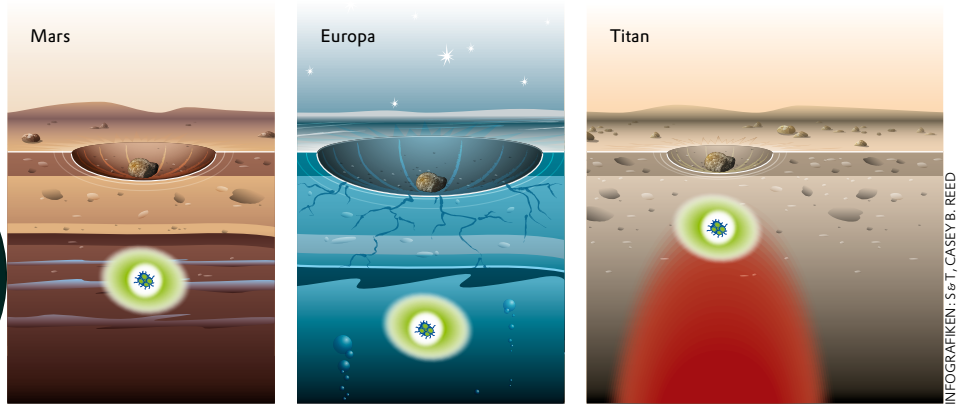
1984 befestigte die Astrobiologin Gerda Horneck, heute am DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln, Behälter mit Endosporen bildenden Bakterien an der Außenseite der Nasa-Sonde »Long Duration Exposure Facility« (LDEF). Die Sonde sollte elf Monate im Orbit bleiben und dann wieder zurückgeholt werden. Terminprobleme, Budgetkürzungen und die Challenger-Katastrophe 1986 verzögerten ihre Rückkehr.



LINKS: NASA, LARC; RECHTS: NASA



7 … und muss dann in der fremden Welt überleben.



INFOGRAFIKEN: S e T, CASEY B. REED

Als die Sonde schließlich doch eingesammelt wurde, waren aus den elf Monaten sechs Jahre geworden. Und die ganze Zeit waren die Bakterien den Bedingungen im Weltall ausgesetzt gewesen. Wieder auf der Erde, gediehen sie prächtig!

Der kritische Faktor im Weltall ist die Abschirmung. Das UV-Licht der Sonne und diffuse Röntgenstrahlen stellen dabei das geringste Problem dar. Schon ein paar Scheiben Brot würden solche Strahlen ausreichend abfangen. Viel schädlicher sind die subatomaren Partikel des Sonnenwinds. Um diese abzuhalten, bedarf es schon sechs Laiben Brot, der Metallhülle eines Raumfahrzeugs oder – in Ihrem Fall – des kleinen Felsbrockens, in dem Sie unterwegs sind.

Ein Zehn-Zentimeter-Brocken böte Ihnen Schutz vor Sonnenwind, UV-Licht und Röntgenstrahlen, nicht jedoch vor Gammastrahlen. Deren Wirkung wäre im Innern des Steins sogar noch schlimmer als im freien Weltraum. Denn wenn kosmische Gammastrahlen auf die Oberfläche des Brockens treffen, erzeugen sie zahllose Sekundärteilchen, die durch ihn hindurchrasen und die DNA jedes Bakteriums zerlegen. Dabei gilt: je dicker der Stein, desto mehr Sekundärteilchen – aber nur bis zu einer bestimmten Größe.

Vor sieben Jahren legten Forscher um Curt Mileikowsky, damals am Royal Institute of Technology in Schweden, folgende Rechnung vor. Angenommen, eine Milliarde Deinococcus-radiodurans-Bakterien (siehe Glossar S. 38) würden in einem 1,5-Meter-Brocken auf eine 14 Millionen Jahre dauernde, interplanetarische Reise geschickt. Dann überstünden etwa tausend von ihnen das kosmische Strahlungsbombardement. Noch mehr Überlebende gäbe es in einem Zehn-Meter-Brocken, weil in dessen Innerem die Temperatur nicht so stark schwankte. Zum Glück kommen Einschläge, die Steine dieses Kalibers ins All schleudern, heute selten vor. Doch vor Jahrmilliarden, während des so genannten »Late Heavy Bombardement«, waren solche Ereignisse an der Tagesordnung.

Wenn man sich die Billionen von Einschlägen vor Augen hält, bei denen Material von der Erde ins Weltall gelangte, wird schnell klar: In den letzten vier Milliarden Jahren muss eine ganze Armada von irdischen Mikroben durchs Sonnensystem gesegelt sein. Haben einige von ihnen den Trip zu anderen Himmelskörpern überlebt?

Gerda Hornecks bakterielle Endosporen an der Außenseite der LDEF-Sonde überstanden sechs Jahre im All. Doch eine Reise zum Titan könnte Jahrmillionen dauern. Das wirft die Frage auf, wie lange Mikroben als Endosporen überleben können. Vor sieben Jahren verkündeten Wissenschaftler um Russell Vreeland von der West Chester University, Pennsylvania, sie hätten 250 Millionen Jahre alte Bakterien, die in einem Salzkristall überdauerten, wieder zum Leben erweckt. In dieser Zeit könnten irdische Organismen sogar andere Sternsysteme erreichen, sodass sie sich allmählich in der Milchstraße verbreiten würden.

Vreelands Entdeckung hat eine lebhafte Debatte entfacht. Aber nicht nur sie: Andere Forscher haben angeblich eine 25 Millionen Jahre alte Endospore im Darmtrakt einer fossilen Hummel gefunden. Skeptiker bezweifeln das Alter der Proben und weisen auf mögliche spätere Verunreinigungen hin. Der Streit dreht sich im Wesentlichen darum, wie stabil bakterielle DNA ist.

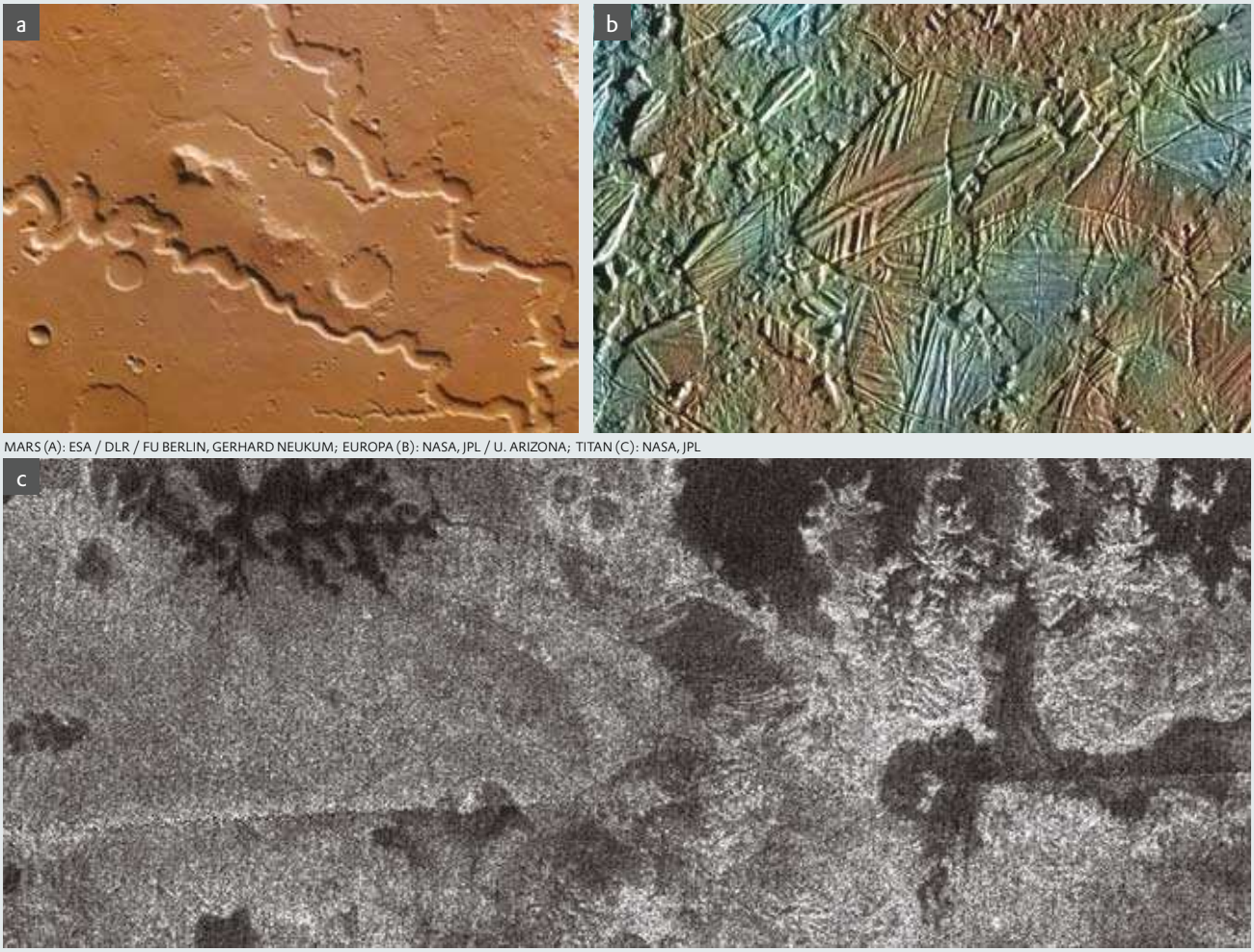
Lebensfeindliches Weltall

Physiologischer Stress und chemische Reaktionen bewirken, dass aus unserer DNA ständig Stücke herausgeschlagen werden. Allein die Reparaturmoleküle schützen unser Erbgut vor dem Zerfall. Doch ein Bakterium im Ruhestadium hat seinen Stoffwechsel samt Reparaturmaschinerie heruntergefahren. Daher müsste seine DNA unter dem Hagel der kosmischen Strahlung rettungslos zu genetischem Brei zerhackt werden – selbst mit der besten Abschirmung.

Wie weit die Zerstörung des Erbguts fortschreitet, hängt von der Dauer des Flugs ab sowie von den Umgebungsbedingungen. Sauerstoff und Wasser etwa beschleunigen den Zerfall. Aber wie lan- >

Sechs Jahre lang flog die amerikanische Sonde LDEF durchs All (links). Die ganze Zeit über trotzten Bakterien auf ihrer Außenseite den Bedingungen im luftleeren Raum. 1969 landete die Apollo-12-Kapsel auf dem Mond (rechts). Sie setzte 160 Meter neben der Sonde Surveyor 3 auf, die zu diesem Zeitpunkt bereits zweieinhalb Jahre auf dem Erdtrabanten gestanden hatte. Die Astronauten brachten Teile der Sonde zurück zur Erde, in denen Mikroben überlebt hatten.

Trocken, eisig, frostig



MARS (A): ESA / DLR / FU BERLIN, GERHARD NEUKUM; EUROPA (B): NASA, JPL / U. ARIZONA; TITAN (C): NASA, JPL

Die Marsoberfläche ist trockener als die trockenste Wüste der Erde (a). Zudem werden organische Moleküle hier vom UV-Licht der Sonne zerstört. Doch einst war der Planet warm und feucht. Vielleicht birgt er in seinem Innern immer noch flüssiges Wasser, das vulkanisch gewärmt wird. Wissenschaftler vermuten, dass sich tief unter Europas Eiskruste (b) ein mächtiger Ozean aus Wasser befindet. Gelänge es irdischen Mikroben, sicher zu landen und dann durch Risse in den Ozean zu sickern, träfen diese eventuell auf günstige Lebensbedingungen. Organische Moleküle und Wassereis gibt es auf Titans Oberfläche im Überfluss (c). Doch die Temperaturen dürften mit zirka minus 170 Grad Celsius zum Leben zu niedrig sein, selbst für Mikroben, die Kälte tolerieren. <<

> ge bleibt die DNA einer Mikrobe in der trockenen Kälte des Weltraums intakt? Niemand weiß es. Einigen jüngeren Studien zufolge könnten es bis zu eine Milliarde Jahre sein.

Auch wenn die Forscher noch rätseln, wie lange Bakterien im Weltall lebensfähig bleiben – die Reisedauer scheint für Mikroben in einem Zehn-Zentimeter-Brocken kein großes Problem zu sein. Wie die Berechnungen von Brett Gladman von der University of British Columbia zeigen, brauchen zahlreiche Meteorite irdischen Ursprungs weniger als eine Million Jahre, um Mars, Europa oder Titan zu erreichen. Einige benötigen dafür wahrscheinlich sogar nur Jahrhunderte oder Jahrtausende. Über solche Spannen hinweg könnten sie den rauen Bedingungen des Alls durchaus standhalten.

Und schließlich: der Aufprall!

Somit haben die Wissenschaftler prinzipiell gezeigt, dass Bakterien im Innern von Steinen den Start auf der Erde überleben, die Gefahren des Weltraums überstehen und auch die Flugzeiten überdauern können. Doch selbst wenn Sie zu den Glücklichen gehören, die all diesen Widrigkeiten getrotzt haben, stellt sich Ihnen jetzt ein weiteres gewaltiges Hindernis drohend entgegen.

Bitte schnallen Sie sich an und vergewissern Sie sich, dass Ihre Rückenlehne aufrecht ist, denn jetzt kommt eine Wahnsinnslandung! Wie furchtbar genau – das hängt von Ihrem Reiseziel ab. Angenommen, Sie sind zum Titan unterwegs. Nach Gladmans Modellrechnungen wird Ihr »Raumschiff« mit etwa 40 000 Kilometer pro Stunde in dessen Atmosphäre eintreten. Klingt schrecklich, ist aber nicht so schlimm. Denn die Titanatmosphäre, die zehnmal dichter als die Gashülle der Erde ist, bremst Ihr Vehikel langsam auf moderate 3000 Kilometer pro Stunde herunter. Im Schutz Ihres Felsbrockens ist das zwar eine holprige, aber keine halsbrecherische Angelegenheit.

Eine Landung auf dem Mars hingegen würde Ihnen den Hals nicht nur bre-

chen, sondern total zerschmettern. Die dünne Atmosphäre des Roten Planeten entfaltet keine starke Bremswirkung auf einen sich nähernden Meteoriten: Ihr Brocken würde mit über 30 000 Kilometern pro Stunde aufschlagen. Das Gleiche gilt für den Jupitermond Europa, der nur einen überaus schwächlichen Atmosphärenschleier besitzt. Ein Meteorit, zusätzlich beschleunigt durch die Schwerkraft Jupiters, würde mit etwa 89 000 Kilometern pro Stunde auf den gefrorenen Trabanten knallen, was Gladman zu Recht als »unbequem« bezeichnet.

Doch wie wir bereits mehrfach sahen: Was für den Menschen tödlich, ist für Mikroben häufig kein Problem. Aber kann eins dieser Biester tatsächlich den Aufprall auf Europas hartem Eis überleben? Um diese Frage zu beantworten, hat Marc Burchells Forscherteam Bakterien mit bis zu 18 000 Kilometer pro Stunde ins Eis geschossen. Von 100 000 Exemplaren überlebte eines, allerdings könnte sich die Differenz zwischen 18 000 und 89 000 Kilometer pro Stunde selbst für die hartgesottensten Mikroben als fatal erweisen. Immerhin: Wer Burchells Brachialbehandlung überstanden hat, für den besteht vielleicht wenigstens eine schwache Hoffnung, halbwegs unversehrt auf Europa zu landen.

Plätze zum Leben?

Der Titan ist dieser Tage ein garstiger Ort (das wird sich in ferner Zukunft ändern, wenn die Sonne sich zum Roten Riesen aufbläht). Seine Bodentemperaturen liegen bei minus 178 Grad Celsius, seine Atmosphäre ist durchsetzt von Methan, Ethan und aggressiven Chemikalien, die wir auf der Erde als Reinigungsmittel verwenden. Unter diesen Bedingungen hätten die meisten Mikroben wohl keine Chance. Allerdings könnte es auf dem Saturnmond auch weniger unwirtliche Gegenden geben. So hat das Radar der Nasa-Sonde Cassini einige Spuren von Kryovulkanen entdeckt: heiße Stellen, wo gefrorenes Wasser an die Oberfläche gelangt. Wie einige Forscher spekulieren, könnten diese Orte sogar warm genug sein, um das Wassereis zu verflüssigen – aber Genaues weiß niemand.

Auch Bakterien, die heute als Endosporen auf den Mars gelangten, würden keine besonders günstigen Bedingungen vorfinden. Doch in den ersten 800 Millionen Jahren nach seiner Entstehung hat der Rote Planet wahrscheinlich einen warmen und feuchten Lebensraum für eingewanderte Mikroben geboten. Die Marsrover Spirit und Opportunity lieferten zahlreiche Beweise, dass es dort in der Vergangenheit flüssiges Wasser gab. Zudem deuten Satellitenbilder von alten Flussläufen, ausgetrockneten Seen und mutmaßlichen Meeresbecken an, dass der Mars einst der Erde ähnelte. Mikroben, die gegen Ende des »Late Heavy Bombardement« vor 3,8 Milliarden Jahren von der Erde geschleudert wurden, erreichten unseren Nachbarplaneten womöglich und machten ihn zu ihrer neuen Heimat. Vielleicht fristen ihre Nachkommen heute ihr Dasein in feuchtwarmen Zonen unter der Oberfläche.

Trotz der extremen Bedingungen bei der Landung ist Europa vielleicht noch am gastfreundlichsten gegenüber terrestrischen Bakterien. Schmelzwasser, das sich beim Aufprall bildet, könnte die Organismen in die Risse und Spalten der vereisten Mondkruste spülen. Womöglich sickern sie dann in einen wärmeren unterirdischen Ozean, wo eine bessere Chance zum Überleben besteht.

Der Einschlag von Yukatan vor 65 Millionen Jahren wurde den meisten irdischen Spezies zum Verhängnis. Die anhaltende Verfinsterung, die er auslöste, unterbrach die Nahrungskette, indem sie die Fotosynthese der Landpflanzen und Algen zum Erliegen brachte. Die verrottenden Pflanzen und die verwesenden Tierleichen nährten Würmer und Insekten. Diese wiederum dienten kleinen Säugetieren als Nahrung, die Jagd auf sie machten. Die Kadaver türmten sich, Würmer und Insekten gediehen prächtig, und die Säugetiere – darunter unsere Vorfahren – übernahmen fortan die Führungsrolle auf unserem Planeten.

Fand gleichzeitig noch eine andere Übernahme statt? Als unsere Urahnen aus dem Schatten der Dinosaurier traten, schwebten Milliarden irdischer Mikroben durchs All. Die meisten von ihnen gingen zu Grunde. Doch gab es auch welche, die lang genug lebten, um Titan, Europa oder den Mars zu erreichen? Und sollten wir eines Tages fossile Bakterien auf fremden Himmelskörpern finden – werden wir irdische Emigranten von echten Aliens unterscheiden können? Vielleicht stehen wir in einem solchen Fall vor dem unlösbaren Rätsel, ob wir Leben extraterrestrischen Ursprungs vor uns haben oder Erdlinge im Exil – verschleppt durch jenen Asteroideneinschlag, der menschliches Leben erst möglich machte. <<

Auf Kosten der Nasa zum Mars

Irdische Mikroben sind bereits auf dem Mars gelandet – das ist hundertprozentig sicher. In den vergangen vier Jahrzehnten setzten etwa ein Dutzend Raumfahrzeuge mehr oder weniger hart auf dem Roten Planeten auf. Die Hälfte dieser Sonden war zuvor nicht entkeimt worden. Auch die anderen führten vermutlich blinde Passagiere mit sich, wie Studien zeigten. Der Mikrobiologe Kasthuri Venkateswaran von der Nasa berichtete kürzlich, dass sich Sporen bildende Bazillen der Art Bacillus genus – die für ihre Ausdauer im All bekannt sind – an Bord der Marsrover Spirit und Opportunity befinden. Das heißt, dass irdische Bakterien auf dem Mars landeten und dort womöglich zum Teil noch leben.

Wahrscheinlich gelangten irdische Mikroben auch auf den Titan – als Mitreisende in der Huygens-Sonde der Esa. Die Europäische Weltraumorganisation ging davon aus, dass die rauen Bedingungen auf dem Saturnmond jedes Bakterium töten würden. Daher entschieden die Missionsplaner, die Sonde keiner allzu rigorosen – und teuren – Sterilisierung zu unterziehen.

Von den drei Himmelskörpern unseres Sonnensystems, auf denen es vielleicht einmal Leben gab, blieb nur Europa bisher von der Verunreinigung durch menschliche Raumfahrzeuge verschont. 2003 steuerte die Nasa ihre Galileo-Sonde gezielt in den Jupiter, damit diese nicht auf dem Mond aufschlägt, der möglicherweise eine Biosphäre besitzt.

Und wenn in ein paar Jahren der Treibstoff der Saturnsonde Cassini erschöpft ist, wird die Nasa sie wahrscheinlich in der Atmosphäre des Ringplaneten verglühen lassen, um eine Infektion des Titans auszuschließen. <<

Selby Cull arbeitete im Sommer 2006 für die Redaktion von Sky & Telescope. Sie studiert jetzt Planetologie an der Washington University in St. Louis, Missouri.

STERNTAFEL

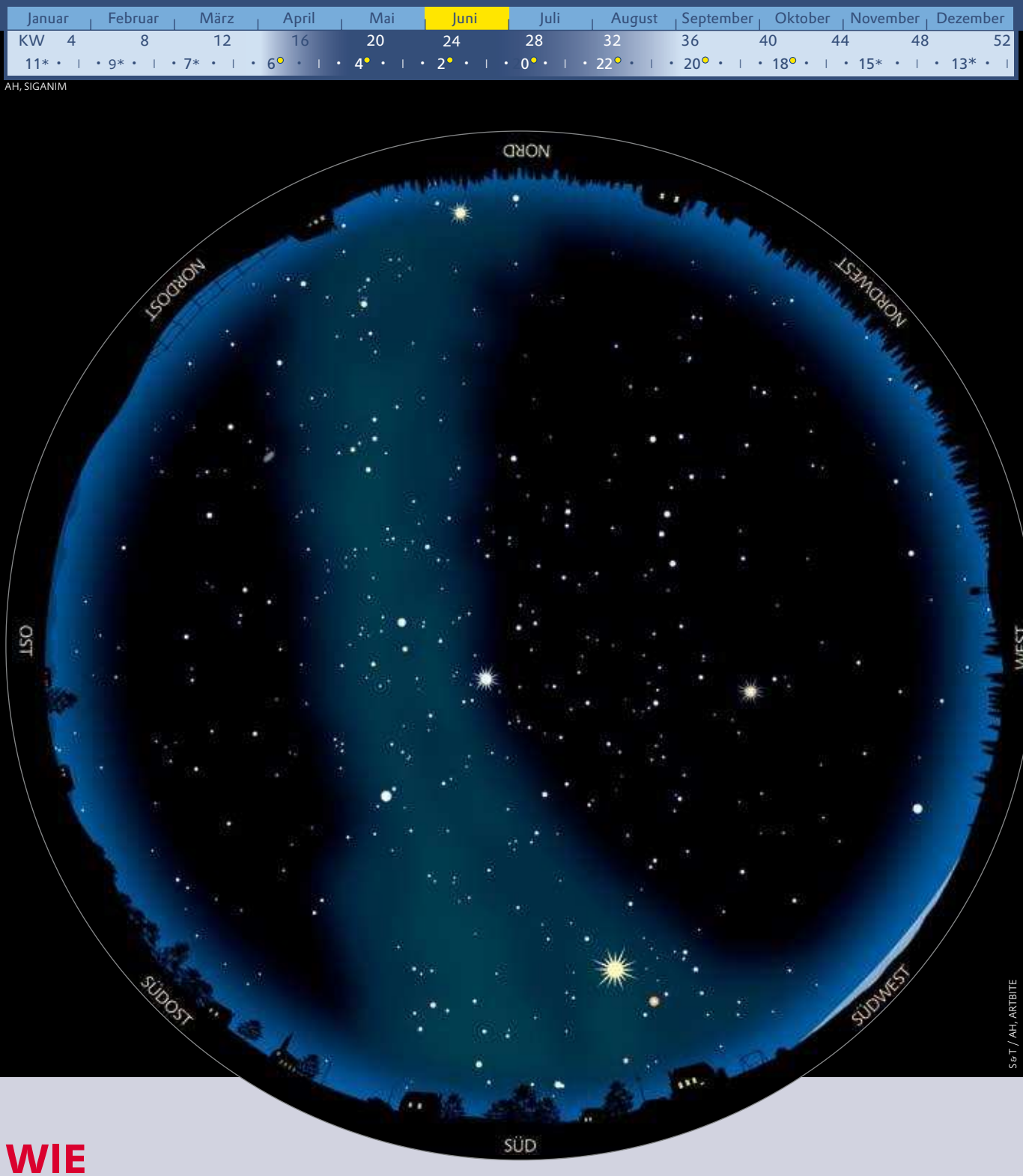
WANN

Der Zeitleiste (oben rechts) können Sie die Gültigkeit der Sternkarten entnehmen. Wählen Sie das Datum anhand des Monats oder der Kalenderwoche (KW) und lesen Sie direkt darunter die zugehörige Uhrzeit ab. Beispiele:

zweite Maihälfte: **3 Uhr**°
zweite Junihälfte: **1 Uhr**°
zweite Julihälfte: **23 Uhr**°

*Mitteleuropäische Zeit (MEZ, UT+1)
°Sommerzeit (MESZ, UT+2)

–1.
0.
1.
2.
3.
4.
5. Größenklasse



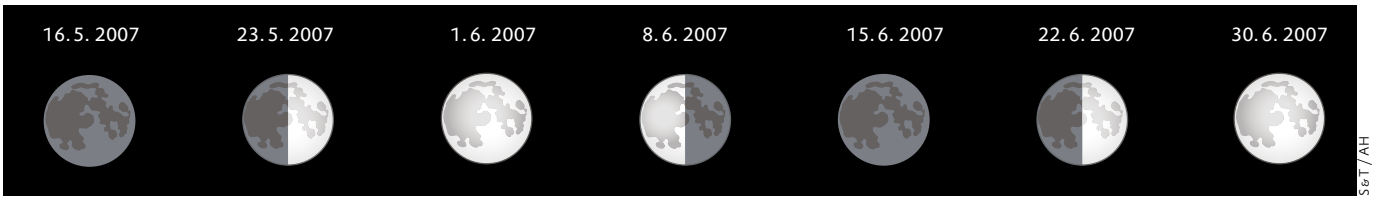
WIE

Auf den Sternkarten sehen Sie den Himmelsausschnitt, der sich Ihnen zu den in der Leiste (ganz oben) angegebenen Uhrzeiten präsentiert. Die Schwarz-Weiß-Karte (links) verzeichnet die wichtigsten Sternbilder, die Namen der hellen Sterne und Fotos oder Detailkarten in diesem Heft. Die Nachthimmelkarte (oben) entspricht dann dem, was Sie unter freiem Himmel sehen.

Zur Orientierung halten Sie die Karten vor sich, und zwar so, dass der Rand mit der Himmelsrichtung, in die Sie schauen, zum Boden zeigt. Die Sterne am Rand der Karte stehen direkt über dem Horizont. Die im Zentrum dargestellten Sterne befinden sich genau über Ihnen – im Zenit.

Beispiel: Jupiter steht tief im Süden und sticht an Helligkeit alle Sterne aus. Der Kopf des Drachen steht gerade im Zenit. Hoch im Südosten driftet das Sommerdreieck aus Wega, Atair und Deneb. Von dunklen Standorten aus können Sie hier die Milchstraße sehen, mit etwas Glück sogar ihre Teilung, den Cygnus-Spalt, der sich links an Jupiter vorbei, zwischen den Sternen von Schütze und Skorpion hindurch, zum Horizont zieht.

Die Karten sind für fünfzig Grad nördliche Breite berechnet, das entspricht in etwa der Linie Luxemburg – Frankfurt am Main – Prag. Beobachter in Alpennähe sehen die Sterne im Süden etwas höher über dem Horizont und die im Norden etwas niedriger. In Norddeutschland ist es genau umgekehrt.



S&T / AH

Echte und scheinbare Himmelspaare

In diesem Monat erwarten Sie eine Planetenparade und ein »blauer« Mond. Falls Sie lieber doppelt sehen wollen, bietet Ihnen der Nachthimmel ebenfalls viele Ziele. **>> Ken Hewitt-White**

Wenn sich die Dunkelheit in den Juniabenden breitmacht, tauchen für verhältnismäßig kurze Zeit im Süden und Osten die Sternbilder des späten Frühlings und des Sommers auf. In den kommenden Monaten werden Sie zahlreiche Deep-Sky-Schätze zu Gesicht bekommen, unter anderem im Bärenhüter (»Bootes«), im Helden Herkules, in der Leier (»Lyra«) und im Schwan (»Cygnus«). Vielleicht haben Sie es nicht auf Anhieb bemerkt, doch diese weite Himmelsregion bietet außerdem reiche Jagdgründe für sehenswerte Doppelsterne.

Mizar im Großen Bären (»Ursa Maior«) und Epsilon Lyrae in der Leier gehören dabei zu den bekanntesten. Doch es gibt noch viel mehr! Unterhalb der Deichsel des Großen Wagens stoßen Sie auf die Jagdhunde (»Canes Venatici«, CVn). Ihr hellster Stern ist Cor Caroli (Alpha Canum Venaticorum, α CVn) mit 3. Größe. Dieses Duo ist schon für kleine Fernrohre eine leichte Beute. Es besteht aus einem Stern 2,9ter und einem 5,5ter Größe, die in 19 Bogensekunden Abstand beide mattweiß leuchten.

Östlich der Jagdhunde, an der Südostecke des Bärenhüters, leuchtet Izar (Epsilon Bootis, ε Boo) mit 3. Größe. Reizvoll ist der Farbkontrast zwischen der gelborangefarbenen Komponente 2,7ter und der bläulichen 4,9ter Größe, zwischen denen nur 2,8 Bogensekunden liegen. Hier müssen Sie stark vergrößern.

Kommen wir zum Herkules. Sein Hauptstern, der rötlich orangefarbene Ras Algethi (Alpha Herculis, α Her), ist ein Veränderlicher: Im Lauf einiger Monate schwankt seine Helligkeit zwischen 3. und 4. Größe. Bei hoher Vergrößerung werden Sie 4,7 Bogensekunden von ihm entfernt einen grünlich blauen Begleiter 5,4ter Größe entdecken. Dieses Paar sieht immer wieder anders aus.

Das gilt auch für 61 Cygni im südöstlichen Flügel des Schwans. Dieses berühmte Duo besteht aus zwei rötlich orangefarbenen Sternen 5,2ter sowie 6,1ter Größe im Abstand von dreißig Bogensekunden. Die beiden Zwerge glimmen Seite an Seite mit jeweils weniger als zehn Prozent der Leuchtkraft unserer Sonne. Sowohl 61 Cygni als auch Albireo sind schöne Ziele für Feldstecher auf einer stabilen Montierung.

Bei Letzterem, Albireo (Beta Cygni, β Cyg), handelt es sich um den 3. Größe hellen Kopf des Schwans. Er besteht aus einem gelborangefarbenen Stern 3,4ter Größe und einem blauen Begleiter mit

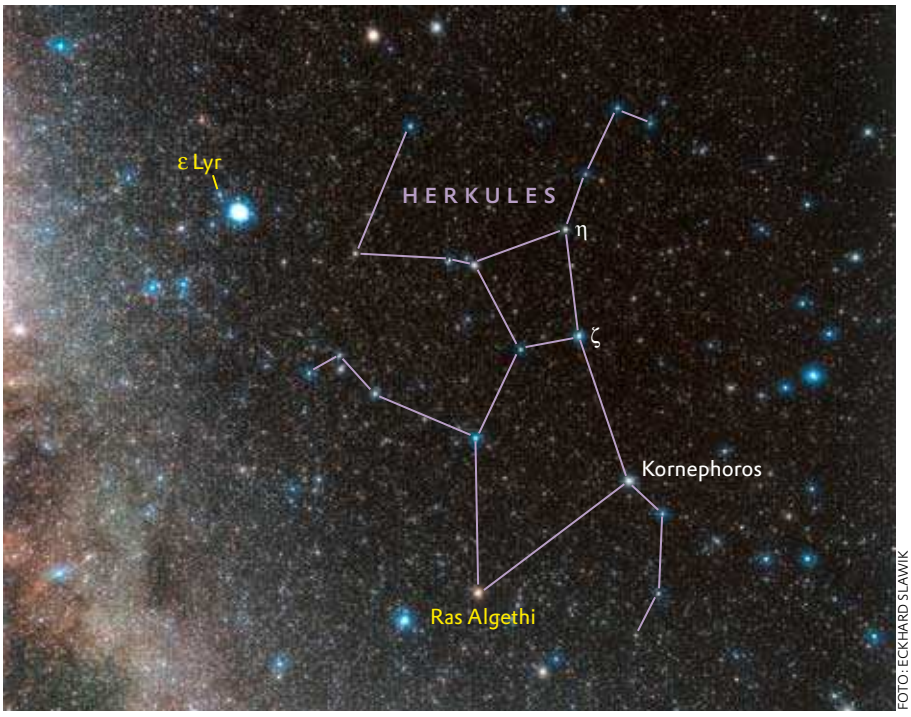
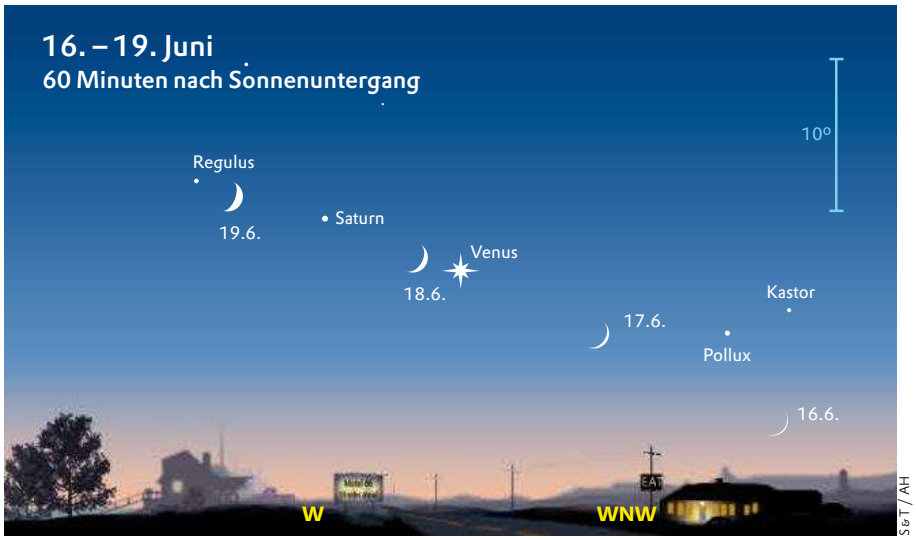


FOTO: ECKHARD SLAWIK

Im Herkules leuchtet nicht Alpha (Ras Algethi) am hellsten, sondern Beta Herculis (Kornephoros, der Keulenträger).

Zunehmend heller steht die Reihe aus Regulus, Saturn, Venus und dem Mond in der Abenddämmerung des 17. Juni.



5,1ter Größe; dazwischen liegen 34 Bogensekunden. Am besten betrachten Sie die farbenprächtigen Juwelen, die dort in der Milchstraße strahlen, mit geringer Vergrößerung.

Planeten im Juni

Merkur macht den Anfang. Er erreicht am 2. Juni mit 23 Grad seinen maximalen Sonnenabstand. An diesem Abend steht er bei Sonnenuntergang mit 0,6ter Größe rund zwanzig Grad über dem westnordwestlichen Horizont. Fast zwei Stunden später geht er unter. Bis zum 10. verblasst Merkur bis auf 1,5te Größe, präsentiert Teleskopbeobachtern dafür aber eine schlanke Sichel von zehn Bogensekunden. In den folgenden Tagen versinkt er wieder im Horizontdunst.

Venus erreicht ihren größten östlichen Sonnenabstand am 9. Juni. Dann steht sie bei Sonnenuntergang 45 Grad von der Sonne entfernt hoch am Westhimmel und geht erst mehr als drei Stunden später unter. Wenn es dunkler wird, leuchtet der –4,3te Größe helle Abendstern am 12. ein Dreiviertelgrad nördlich von M 44. Während mehrerer Abende erscheint das Planetenscheibchen als »Halbmond« von mehr als 23 Bogensekunden. Ende Juni steht die Venus noch fast genauso hoch über dem Horizont, doch die Sichel ist breiter geworden und auf einen Durchmesser von 31 Bogensekunden angewachsen. Die ganze Zeit über nähert sie sich dem Ringplaneten.

Saturn glänzt mit 0,5ter Größe im Löwen. In der ersten Monatshälfte erscheint der Planet hoch über Venus und Merkur am westsüdwestlichen Abendhimmel.

Jupiter befindet sich währenddessen ganz allein auf der anderen Seite des Himmels. Der perlweiße Planet –2,6ter Größe bewegt sich rückwärts im südlichen Schlangenträger, in der Nähe von Antares, einem Stern 1. Größe im Skorpion. Am 7. Juni erreicht der Gasriese seine Opposition, erhellt bei Sonnenuntergang den Südosthorizont und bleibt fast die ganze Nacht tief am Himmel sichtbar.

Der **Mond** ist am frühen Morgen des 1. Juni voll und geht bereits am Vorabend gegen 22.30 Uhr neben Antares auf. Im Lauf der Nacht taucht er eineinhalb Grad unter dem Stern hindurch. Bei seinem nächsten Aufgang steht er schon östlich von Jupiter. Am 17. Juni paradieren der junge Mond, Venus, Saturn und Regulus über dem Westhimmel, schon nach Helligkeit sortiert. Nachts darauf zieht die zunehmende Mondsichel zwischen Venus und Saturn durch. Am 19. peilt unser Trabant Regulus an – von Amerika aus betrachtet bedeckt er ihn sogar.

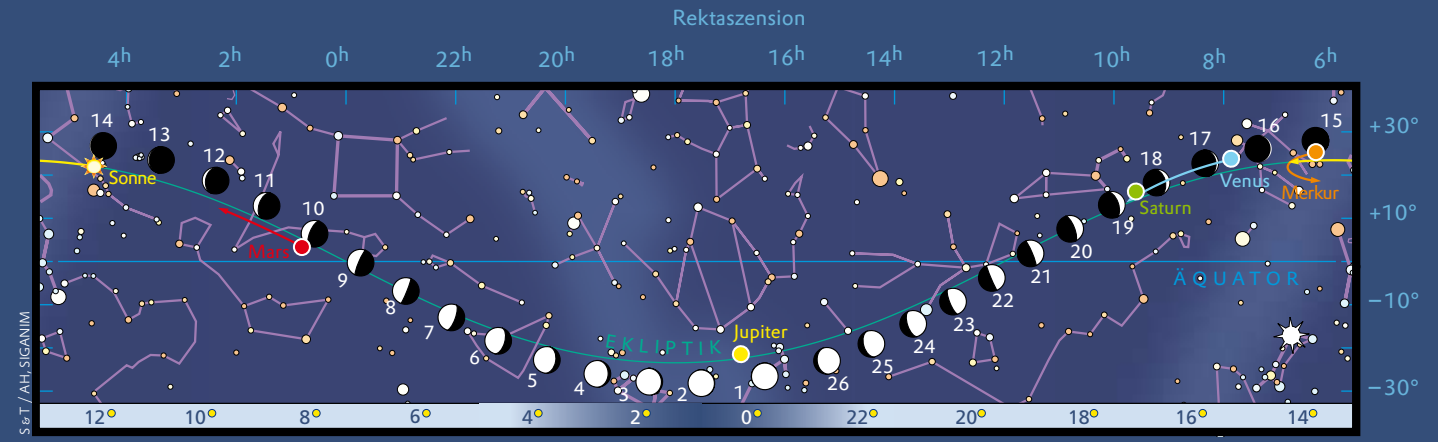
Am Abend des 30. April geht er als »Blue Moon« auf – als zweiter Vollmond innerhalb eines Kalendermonats (»Blue Moon ...«, S. 58). <<

Ken Hewitt-White erkundet den Nachthimmel von Kanada aus.

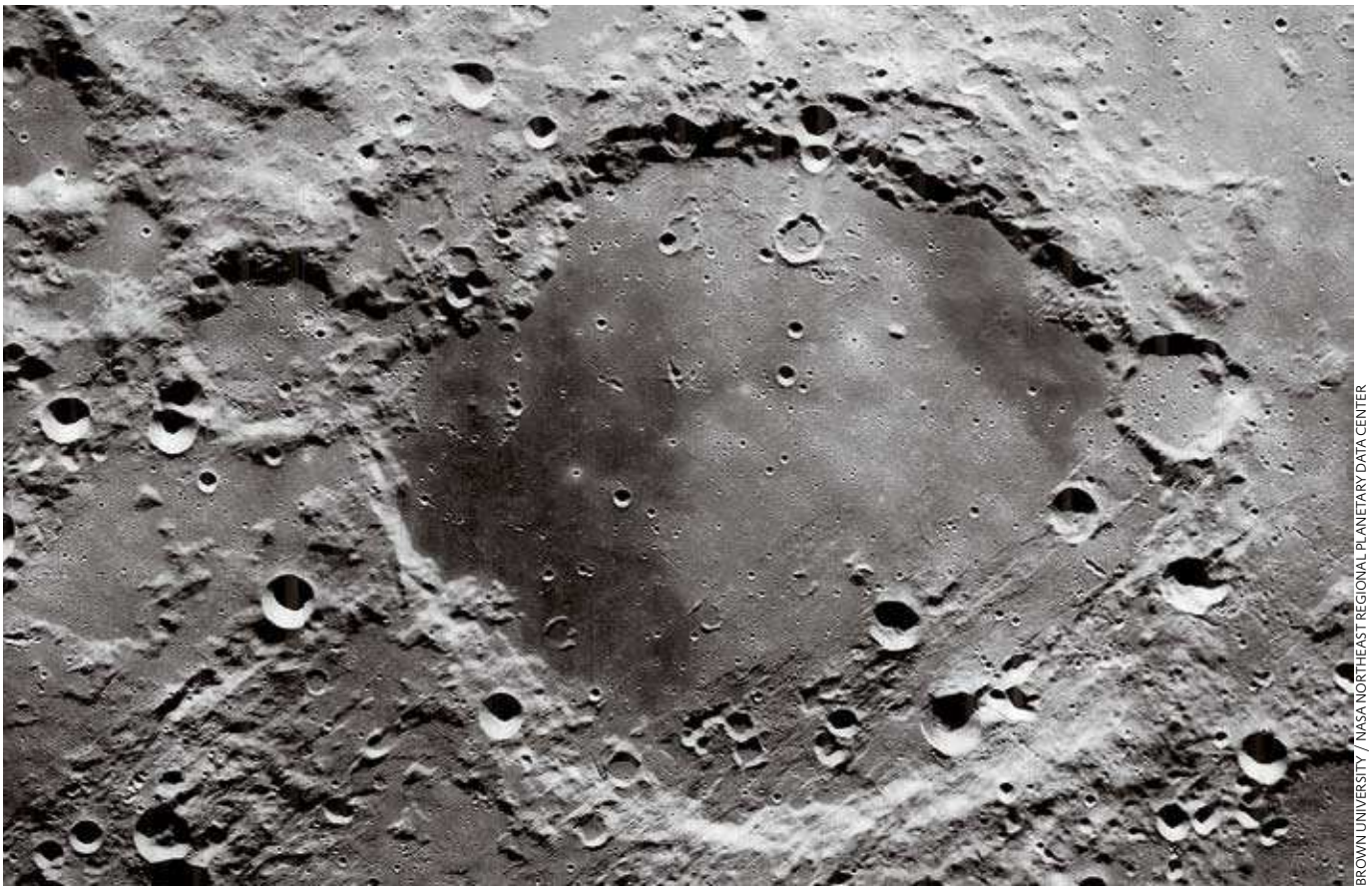
Auf www.astronomie-heute.de/astromovie können Sie unter »Die Wanderung der Planeten« die Bahn der Venus verfolgen.

Das Monatspanorama zeigt die Phasen und Positionen des Monds vom 1. bis zum 26. Juni. Die Pfeile kennzeichnen die Bewegungen von Sonne und Planeten vor den Fixsternen von Monatsanfang bis -ende. Die untere Leiste gibt die ungefähre Ortszeit an, wenn der darüberliegende Bereich zur Monatsmitte im Süden steht.

Der Mond und die Planeten im Juni 2007



Der Mond ist zum besseren Erkennen der Mondphasen auf allen Karten in Übergröße dargestellt.



BROWN UNIVERSITY / NASA NORTHEAST REGIONAL PLANETARY DATA CENTER

Quer durch Schickard läuft ein breiter, heller Streifen von oben nach unten, wie diese Aufnahme der Raumsonde Lunar Orbiter IV zeigt.

Versteckte Meere und staubige Trümmer

Meteoriteneinschläge und Vulkanismus prägten gemeinsam das Antlitz unseres Trabanten.

>> Charles A. Wood

Geologisch gesehen ist der Mond einfach zu erklären – es gibt Einschlagkrater und Vulkanismus, alles andere ist entweder damit verknüpft oder kaum mehr als eine Fußnote wert. Zwar existieren auch Geländeformen, die nur eine Ursache haben, doch viele seiner Landmarken entstanden durch eine komplizierte Kombination der beiden Einflüsse. Das liegt daran, dass weder Vulkanismus noch die Entstehung von Kratern besonders ordentliche Angelegenheiten sind.

Auswurfmaterial von Einschlägen wird meist über große Entfernungen verteilt und gelangt manchmal sogar bis zur Erde, wo die Stücke dann als Mondmeteoriten aufschlagen.

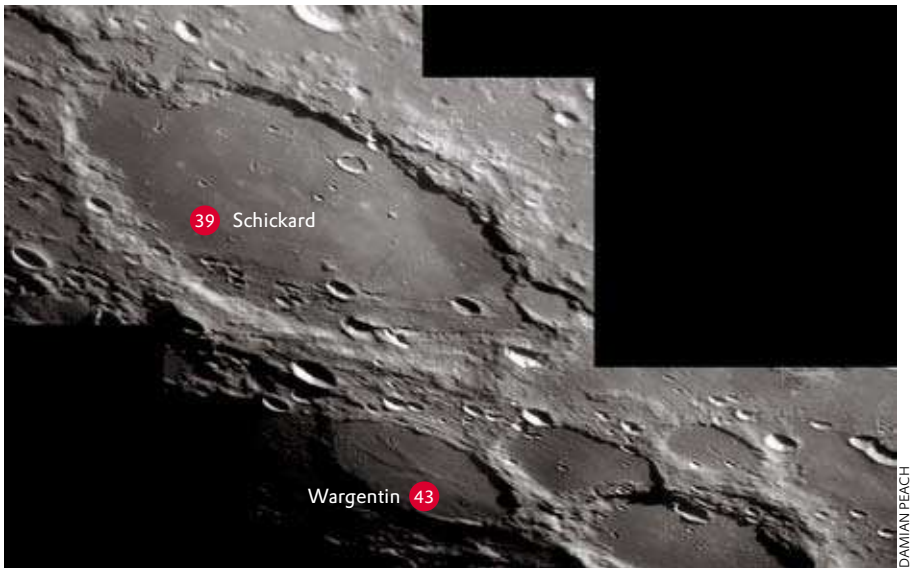
Der Vulkanismus bildet Buchten, er flutet, bedeckt, begräbt, zerstört und hebt manchmal sogar Krater an, die im Weg liegen. Herauszufinden, wie diese zwei Prozesse miteinander verwoben sind, ist der halbe Spaß bei der Beobachtung unseres Trabanten.

(K)eine einfache Geologie

Im Allgemeinen ist die Geschichte des lunaren Hochlands eine Geschichte von Kratern auf Kratern auf Kratern. Diese weite, helle und kerbenreiche Fläche bedeckt einen großen Teil der Südhalbkugel des Monds. Doch selbst hier gibt es eine gewisse Anzahl von »Problemkratern«. Nehmen wir Wargentin (L43 in den Lunar Top 100, AH 7-8/2004, S. 54). Er ist mit 84 Kilometer Durchmesser genauso groß wie Tycho, sieht aber völlig anders aus. Tycho hat eine starke Vertiefung mit wunderschön terrassierten Wänden und einem pyramidenartigen Zentralberg. Bei Wargentin hingegen fehlen solche Merkmale völlig, stattdessen füllt ihn irgendein glattes Material bis zum Rand aus. Klassische Mondkartografen nahmen an, diese Füllung bestehe aus Lava. Dabei schienen sie aber nicht zu bemerken, dass die Meere (in denen sich der meiste Basalt befindet) viel dunkler sind als Wargentin, der somit aus anderem Material bestehen müsste.

Nachdem die Forscher erkannten, dass das angrenzende riesige, relativ junge Mare Orientale Folge eines Einschlags ist,

Tief im Süden des Erdtrabanten liegen zwei Krater mit einer interessanten und ungewöhnlichen Entstehungsgeschichte.



DAMIAN PEACH

Lunar Top 100 (AH 7-8/2004, S. 54)

39 **Schickard:** von einem Wall eingefasst Ebene mit Auswurfstreifen vom Orientale-Einschlag

43 **Wargentin:** bis zum Rand mit Lava angefüllter Krater

vermuteten sie, Wargentin könnte mit Auswurfmaterial aus diesem benachbarten Becken gefüllt sein. Doch auch bei dieser Erklärung gibt es noch einige Rätsel.

Sie können in Ihrem Teleskop strahlenartige Trümmerlinien sehen, die auf Orientale zurückweisen. Diese Strahlen liegen nördlich und südlich des Kraters. Wenn Sie genau hinschauen, dann erkennen Sie, dass Wargentin selbst diese Struktur nicht zeigt. Außerdem weist die Krateroberfläche einen y-förmigen Runzelrücken auf, der aussieht wie ein Marerücken.

Vor einem Jahrzehnt bemerkten Forscher der Universität von Hawaii einen kleinen Krater mit dunklem Halo in der Nähe von Wargentins Südrand. Anhand von Beobachtungen mit verschiedenen Farbfiltern erkannten sie, dass das dunkle Material in dem Halo Marebasalt ist. Der kleine Krater selbst stammt von einem Einschlag, der sich durch das helle Oberflächenmaterial gegraben und die darunterliegende Marelava freigelegt hat. Zusammen mit dem auffällig glatten Boden und dem Runzelrücken beweist das: Wargentin wurde in der Tat von Lava überflutet.

Beachten Sie auch das glatte Gebiet im Nordwesten, zwischen Schickard und Inghirami. Für mich sieht es aus, als sei früher ein Lavastrom über den niedrigen Teil von Wargentins Rand geflossen und habe sich in der umgebenden Region ausgebreitet. Können Sie sich vorstellen, was für ein enormer »Lavafall« sich damals über seine Wälle ergossen hat?

Schickard (L39, Bild links) ist ein weiterer seltsamer Krater, der auf eine Mischung aus Einschlagmechanismen und Vulkanismus zurückgeht. Sein Durchmesser beträgt 227 Kilometer, aber diese enorme Größe ist nicht seine einzige bemerkenswerte Eigenschaft – er zeigt auch einen auffälligen diagonalen Streifen.

Verstaubte Krater

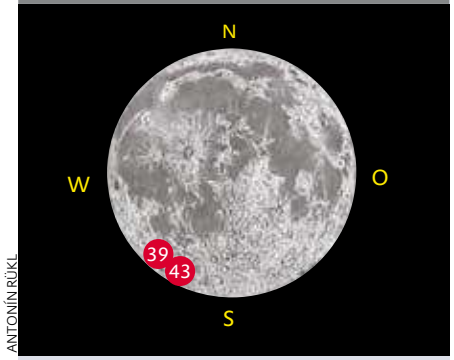
Dieses Merkmal verleiht Schickards Boden ein helles Zentrum und dunkle Randgebiete. Wenn Sie seine südwestliche Region genau betrachten, sehen Sie in dem matten Streifen Linien, die radial vom Mare Orientale abgehen. Das deutet darauf hin, dass sich das hellere Material ebenfalls während der Bildung des Orientale abgelagert hat.

In der Osthälfte von Schickard finden Sie zwei Krater mit dunklen Halos, an denen sich erkennen lässt, wie das helle Material die flachen Marelaven bloß wie ein dünnes Furnier überzieht. Die dunklen Randgebiete des Kraters bestehen aus Marebasalt. Weil sie nicht von Orientale-Auswurfmaterial bedeckt wurden, müssen sie von einer Eruption stammen, die sich ereignete, nachdem sich das Becken vor etwa 3,84 Milliarden Jahren gebildet hatte.

Schickard besitzt also eine ziemlich komplexe Geschichte. Nachdem der Krater entstanden war, flutete zunächst Marelava seinen Boden. Anschließend erhielt die gesamte Gegend (einschließlich Wargentin) eine Staubschicht aus hellem Orientale-Auswurfmaterial. Einige Zeit darauf brach am Nord- und Südende von Schickards Boden frische Lava aus, und noch später hinterließen Einschläge ihre Spuren als Krater mit markantem dunklem Halo.

Wenn Sie diese Gegend betrachten, entdecken Sie mehrere ähnliche Krater. Mit ihrer Hilfe können Sie einen weiten Bereich abstecken, in dem die alten Marelaven von Orientale-Auswurfmaterial bedeckt wurden. Solche versteckten Maria (oder Kryptomaria, wie sie auch genannt werden) weisen darauf hin: Hier könnte ein altes Einschlagbecken existieren. Seit einiger Zeit ist bekannt, dass ein übersehenes altes Becken zwischen den Kratern Schiller und Zucchius liegt und es durchaus noch weitere geben könnte. Erkunden Sie mit Ihrem Teleskop einfach die Gegend, wenn die Sonne hoch über ihr steht, dann können Sie an den Kratern mit ihren dunklen Halos durch die Staubtrümmer des Mare Orientale hindurchblicken. <<

So finden Sie die Krater:

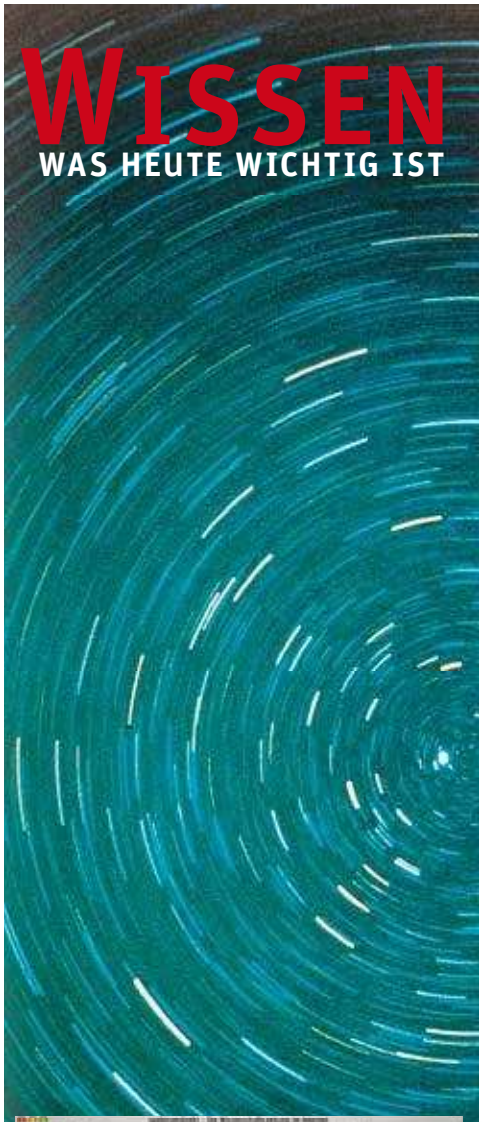


ANTONÍN RÜKL

Schickard und **Wargentin** können Sie vom 30. 5. bis zum 11. 6. 2007 und vom 28. 6. bis zum 10. 7. 2007 beobachten.

Charles A. Wood unterhält die Internetseite Lunar Photo of the Day (www.lpod.org).

WISSEN
WAS HEUTE WICHTIG IST



Die Redaktion von spektrumdirekt informiert Sie schnell, fundiert und verständlich über den Stand der Forschung.

www.spektrumdirekt.de/heute

spektrumdirekt
Die Wissenschaftszeitung im Internet

FELDSTECHERTIPP

M13: kugelrunder galaktischer Wandersmann

Die lauen Sommernächte im Juni und Juli zaubern eine Vielzahl von leicht sichtbaren Kugelsternhaufen an den Himmel: Tief am Südhorizont zeigen sich M4 und M80 im Skorpion sowie M 22 im Schützen. Weiter im Norden präsentiert der Schlangenträger die Haufen M10, M12, M14, und als krönenden Abschluss bietet Herkules (Foto S. 46) M92 sowie den bekanntesten und meistbesuchten Kugelsternhaufen des Nordhimmels, M13.

Kugelsternhaufen gehören zu den ältesten Objekten der Milchstraße: Viele hunderttausend leuchtende Sonnen stehen – im kosmischen Maßstab gesehen – dicht gedrängt auf einem nahezu kugelförmigen Raum, mit einer starken Konzentration zum Zentrum hin. Auf einem imaginären Planeten innerhalb eines solchen Haufens wäre der Himmel wohl von tausenden Sternen übersät, gegen die selbst der helle Sirius blass aussähe! Etwa 150 Kugelsternhaufen sind bis heute in unserer Heimatgalaxie entdeckt worden. Sie wandern um das Zentrum auf meist sehr exzentrischen Bahnen, die sie weit von der Milchstraße wegführen können.

M13 befindet sich derzeit in 26000 Lichtjahren Entfernung. Das Leuchten der geschätzten eine Million Sonnen ist von dunklen Standorten aus gerade noch mit bloßem Auge sichtbar, aber dennoch einfach zu finden. Starten Sie an der rechten oberen Ecke des Herkulesvierecks und »fahren« Sie mit Ihrem Feldstecher entlang der Verbindungslinie Eta und Zeta Herculis (η und ζ Her). Nach einem Drittel des Wegs wird Ihnen sofort ein runder, nebliger Ball mit einem hellen Zentrum ins Auge springen. Bei guten Bedingungen zeigt ein größerer Feldstecher den äußeren Rand des Haufens leicht gesprenkelt, in einem Feldstecher mit zehn Zentimeter Öffnung können Sie sogar einzelne Sterne aufblitzen sehen. Weitere Strukturen zu erkennen bleibt Ihnen im kleinen Feldstecher jedoch verwehrt.

Obwohl Kugelsternhaufen erst im Teleskop ihre wahre Natur offenbaren, beeindrucken einige dieser galaktischen Wanderer auch im Feldstecher.

>> Lambert Spix

Der Brustkorb des Helden

Herkules wird an seiner westlichen Flanke von M13 geziert.

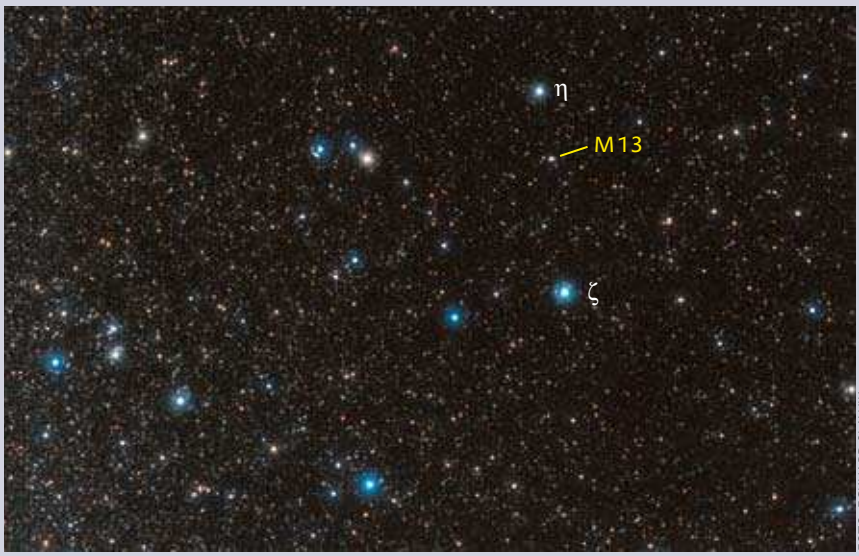


FOTO: ECKHARD SLAWIK

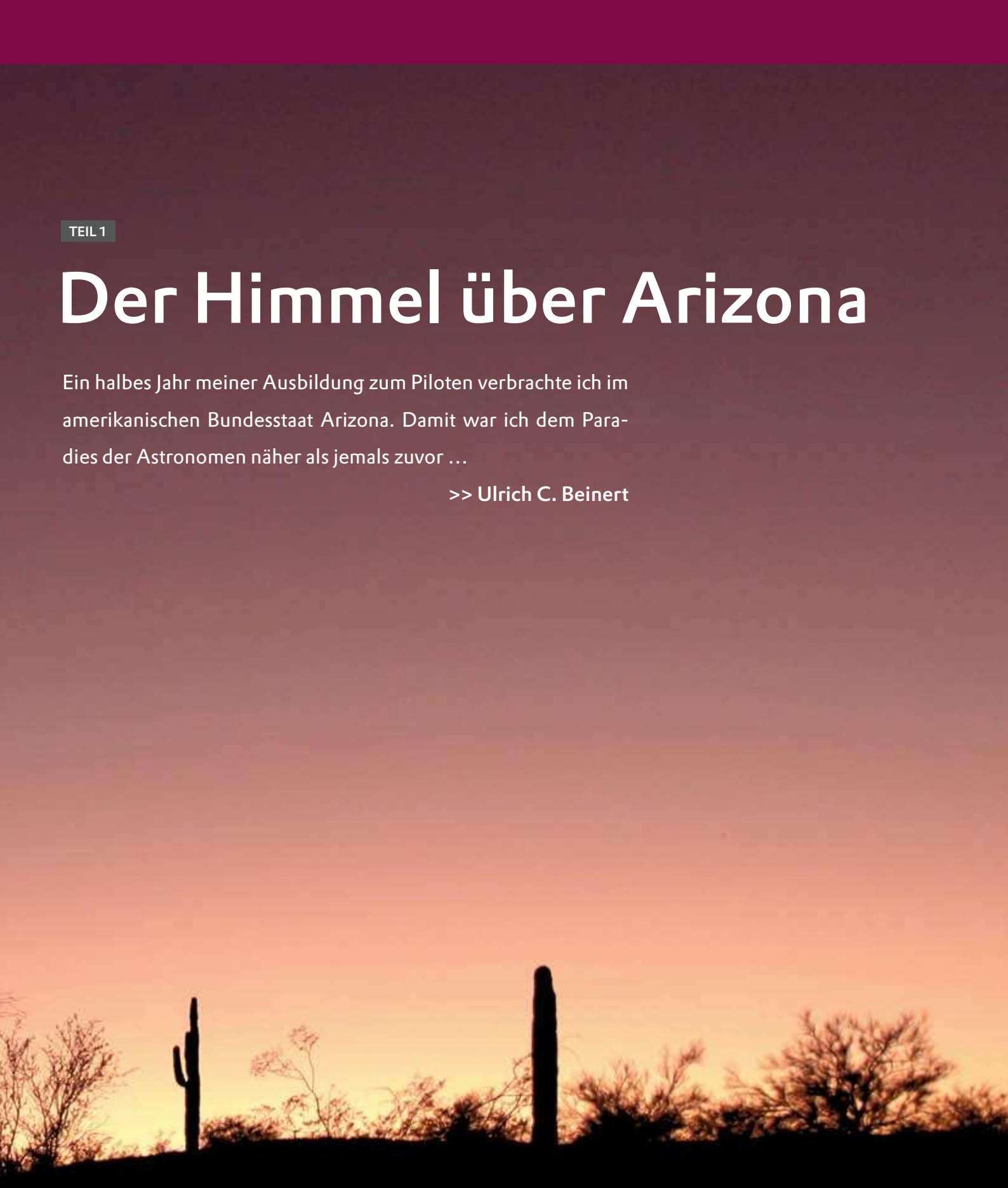
ALLE FOTOS DES ARTIKELS: ULRICH C. BEINERT

TEIL 1

Der Himmel über Arizona

Ein halbes Jahr meiner Ausbildung zum Piloten verbrachte ich im amerikanischen Bundesstaat Arizona. Damit war ich dem Paradies der Astronomen näher als jemals zuvor …

>> Ulrich C. Beinert



Der riesige Saguaro-Kaktus ist das Wahrzeichen Arizonas – und doch nicht leicht zu finden.

Auch wenn er vom Boden aus unspektakulär sein soll – aus der Luft wirkt der Winslow Meteor Crater grandios.

Für viele amerikanische Hobbyastronomen ist der Südwesten das, was für deutsche Namibia ist. Wer eine ernsthafte Astroexkursion unternimmt, reist nach Kalifornien, New Mexiko – oder eben Arizona. Die Zahl der Observatorien und astronomischen Forschungseinrichtungen in Arizona ist riesig. US-Sterngucker fliegen allerdings zumeist nicht direkt an ihr Ziel, sondern laden ihre Ausrüstung einfach in überdimensionierte Pick-ups und fahren damit quer durchs Land, um zu beobachten und zu fotografieren – allein oder im Rahmen eines Teleskoptreffens. Pech für mich: In meinem begrenzten Fluggepäck war weder Platz für mein Teleskop noch die Montierung. Daher musste ich mich mit meiner Kameraausrüstung – einer Canon EOS 10D mit ein paar Objektiven – und einem Stativ begnügen.

Als erstes astronomisches Highlight wählte ich eine große Star Party des in Phoenix ansässigen Saguaro Astronomy Club, von dem ich im Internet erfahren hatte. Und so machte ich mich in meinem Wagen an einem Samstag Ende März 2006 auf, die Interstate 10 entlang Richtung Südwesten.

Die Landschaft Arizonas bietet eine scheinbar unerschöpfliche Vielfalt: eine mit Kakteen übersäte Wüstenlandschaft und schneebedeckte Berggipfel, bizarre Felsformationen und endlose Plateaus, die hier und da von tiefen Canyons zerfurcht sind. Als Wahrzeichen des Staats gelten die mächtigen Saguaros – Riesensäulenkakteen, die für mich zum Schönsten gehören, was die Wüste zu bieten hat. Doch es ist gar nicht so leicht, solche aufzutreiben. Sie wachsen nur in relativ kleinen Gebieten, alle innerhalb der Sonorawüste, und werden über zweihundert Jahre alt (Foto S. 52–53).

Mit weniger als sechs Millionen Einwohnern auf einer Fläche von annähernd 300 000 Quadratkilometern hat Arizona eine Bevölkerungsdichte von 19 Einwohnern pro Quadratkilometer. In Deutschland dagegen wohnen mehr als 80 Millionen Menschen auf einer nur wenig größeren Landfläche – hier ist die Bevölkerungsdichte zehnmal so hoch. Mehr als die Hälfte der Bewohner Arizonas leben in den Metropolregionen Phoenix und Tucson im Süden des Staats und entsprechend schwach besiedelt sind die umliegenden Landstriche.

Das Klima ist regional sehr unterschiedlich. In den tiefer gelegenen Wüstenregionen im Süden bewegen sich die Temperaturen im Winter zwischen 4 und 24 Grad Celsius, im Sommer folgt auf eine Phase mit trockener Hitze (32 bis 38 Grad Celsius) eine regenreiche Zeit mit nicht ganz so heißer, dafür aber feuchter Luft. Rekordtemperaturen über fünfzig Grad sind nicht unüblich, diese Tage sind nur in klimatisierten Räumen zu ertragen. Wie in jeder Wüste sind wegen der Trockenheit Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht von bis zu dreißig Grad die Regel.

Im Norden liegt eine ausgedehnte Hochebene, die sich bis in die benachbarten Bundesstaaten Utah und Colorado erstreckt. Hier gibt es milde Sommer und ausgesprochen kalte Winter. Die Sonnen-

Haben sich die Wolken einmal verzogen, ist der Sternhimmel besser als alles, was ich bis dahin in Deutschland gesehen hatte.

scheinwahrscheinlichkeit beträgt jedoch im Jahresschnitt neunzig Prozent!

Auf halber Strecke zwischen Phoenix und Tucson verließ ich den Highway und fuhr auf kleineren Straßen durch die Wüste. Ein Dorf namens Arizona City war das letzte Stückchen Zivilisation, das ich sah, bevor ich über die »Andromeda Street«, den »Mars Drive« und die »Constellation Avenue« einen Beobachtungsplatz des Saguaro Astronomy Club erreichte. Dort hatten sich schon mehr als hundert Astronomen versammelt und ihre Zelte aufgebaut.

Dem Himmel so nah

Als ich einen Platz für mein Auto gefunden hatte, ging die Sonne bereits unter und die Dämmerung brach herein. Ich hatte mir ein Feldbett mitgebracht und legte mich unter den Sternhimmel, während ich ihn mit meiner auf lange Belichtungszeiten eingestellten Kamera ins Visier nahm. Wolkenfelder zogen über mich hinweg – an anspruchsvolle Fotografie war nicht zu denken. Doch die eine oder andere kurze Stimmungsaufnahme oder Strichspur würde ich einfangen.

Mehrmals bin ich in dieser Nacht eingenickt und aufgewacht, habe kurz nach der Kamera gesehen, bin wieder in den Schlafsack gekrochen und habe den prachtvollen Himmel bestaunt. Obwohl die Sicht wegen der hohen Luftfeuchtigkeit verschleiert war und die leichte Bewölkung Teile des Himmels verdeckte, war dies schöner als alles, was ich in Deutschland jemals gesehen hatte.

Leider entpuppte sich meine Ausbildung zum Piloten jedoch als um einiges anstrengender, als ich erwartet hatte, und so konnte ich lange Zeit nicht viel unternehmen. Für den April hatte ich allerdings einen Flug von Flagstaff nach Winslow geplant, das in der Nähe des bekannten Meteor Crater liegt. 1200 Meter im Durchmesser und 170 Meter tief ist das Loch im Boden. Schon die Apollo-Astronauten der 1960er Jahre trainierten dort für die Mondmissionen. Auch wenn der Krater vom Boden aus eher unspektakulär wirken soll – sein Anblick aus der Luft ist grandios. Wenige Wochen später ging ich mit ein paar Freunden östlich von Phoenix zelten und hatte endlich wieder Gelegenheit, Sterne zu beobachten. Die Nacht verbrachten wir in einer halb offenen Höhle, aus der wir einen Panoramaausblick auf die vom Mond erhellten Felsklippen und den Nachthimmel hatten. Dieses eindrucksvolle Erlebnis werde ich nie vergessen.

Durch das Teleskoptreffen und die Übernachtungen in Zelt und Höhle war ich neugierig geworden auf einen Blick durch ein Profiinstrument. Noch hatte ich kein einziges Observatorium besucht. Die kommenden Monate würden spannend werden, denn Arizona, das wusste ich, hat auch auf diesem Gebiet so einiges zu bieten! <<

Ulrich C. Beinert ist Naturfofograf und hat oft Fernweh nach Orten mit dunklem Nachthimmel.

Fortsetzung folgt ...

Rätselhafte Radioquellen

Vor etwa einem halben Jahrhundert lernten wir, dass es Quasare gibt. Haben wir sie inzwischen einigermaßen verstanden?

>> Rudolf Kippenhahn

Zu meinen aufregendsten Erlebnissen als Astronom zählt eine Konferenz im Dezember 1963 in Dallas, Texas. Es war wenige Wochen nach der Ermordung des amerikanischen Präsidenten John F. Kennedy, und wir trafen uns in einem Vortragssaal, nur einige hundert Meter vom Schauplatz des tragischen Ereignisses entfernt. Astronomen aus der ganzen Welt diskutierten dort eine brandneue Entdeckung.

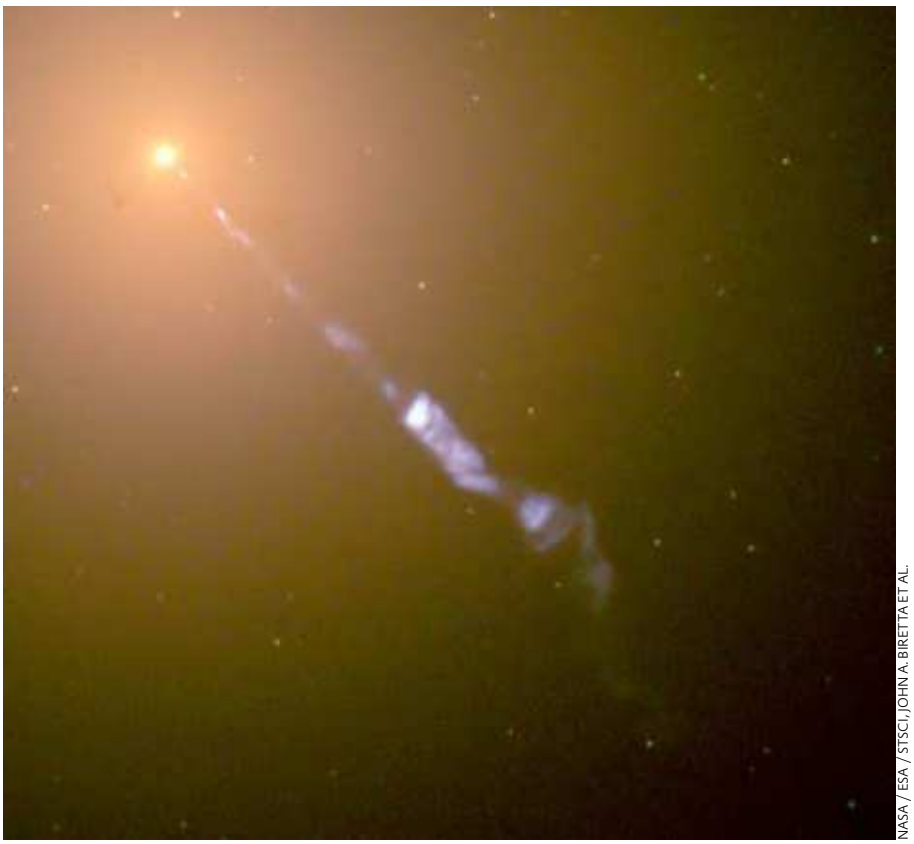
Anfang der 1960er Jahre hatten Beobachter einige merkwürdige Objekte am Himmel gefunden, die eine sehr intensive Radiostrahlung von sich gaben. Im Fernrohr sahen sie wie Sterne aus, schienen aber doch etwas ganz Anderes zu sein. Man nannte sie »Quasistellar Radio Sources« (zu Deutsch: sternähnliche Radioquellen), abgekürzt Quasare.

Sie waren recht rätselhaft. Einer mit der Katalognummer 3C 48 fliegt zum Beispiel mit einer Geschwindigkeit von 110 000 Kilometern pro Sekunde von uns weg. Ein solches Tempo hatte man noch bei keinem Stern gemessen. Nur extrem weit entfernte Galaxien nehmen wegen der Expansion des Weltalls derart schnell von uns Reißaus.

Waren die »Radiosterne« vielleicht gar keine Sonnen, sondern so etwas wie Galaxien? Schließlich nehmen sie wie diese an der kosmischen Expansion teil. Die meisten Quasare fliehen noch schneller als die fernsten Galaxien und stehen deshalb wohl noch viel weiter draußen.

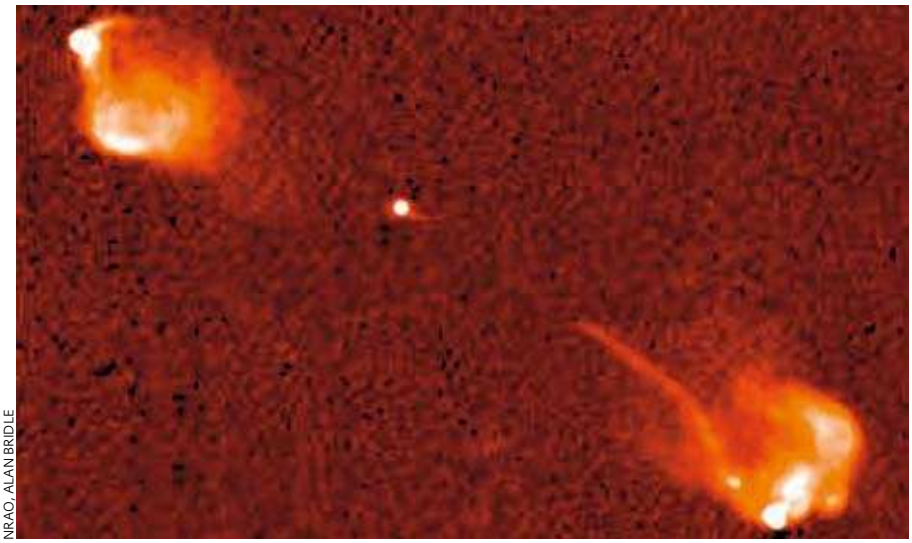
Gibt es in diesen Distanzen, so fragten sich die Astronomen, vielleicht geheimnisvolle Supersterne, die so stark strahlen wie Galaxien mit ihren Milliarden Sonnen? Die nächsten Generationen der Großteleskope zeigten jedoch, dass die Quasare in Wahrheit Kerne von Galaxien sind, die derart hell leuchten, dass sie alle anderen Objekte in ihrer Sterninsel überstrahlen. Man kannte bereits Galaxien mit extrem hellen Kernen, wenngleich nicht so leuchtstark wie Quasare: die aktiven Galaxien nämlich. Auch aus ihren Zentren kommt nicht nur sichtbares Licht, sondern zusätzlich starke Röntgen-, Infrarot- und Radiostrahlung. Zudem werden energiereiche, scharf gebündelte Materieströme herausgeschossen, die Jets (siehe Bild links).

Sowohl bei Quasaren als auch bei den Zentren aktiver Galaxien sind die Strah-



NASA / ESA / STSCI, JOHN A. BIRETTA ET AL.

Aus dem Zentrum der elliptischen Galaxie M 87 kommt ein gebündelter Strahl aus geladenen Teilchen, der sich über 5000 Lichtjahre erstreckt. Dieser Jet entsteht nahe einem Schwarzen Loch, in das große Mengen von Materie stürzen.



NRAO, ALAN BRIDLE

Der Quasar 3C175 (Punkt links oberhalb der Bildmitte) gibt intensive Radiostrahlung ab, die im Bild als Helligkeit dargestellt ist. Auch von ihm gehen zwei Jets aus, die jeweils etwa eine Million Lichtjahre lang sind, sich in entgegengesetzte Richtungen erstrecken und deren Strahlungskeulen man hier sieht. Das Licht, das uns heute von 3C175 erreicht, wurde ausgesendet, als Sonne und Erde entstanden.

lungsquellen auf engstem Raum konzentriert. Alles spricht dafür, dass es sich dabei um Schwarze Löcher handelt – also um Materiekonzentrationen, an deren Oberfläche die Schwerkraft so groß ist, dass selbst das nach oben gehende Licht wieder zurückfällt und nicht in den Raum entweichen kann. Wenn Materie in solch ein Gebilde stürzt, erhitzt sie sich und sendet in allen Wellenlängenbereichen intensive Strahlung aus, ehe sie auf Nimmerwiedersehen im Loch verschwindet. Warum aber beherbergen Quasare und aktive Galaxien überhaupt Schwarze Löcher, in deren Umgebung ungeheure Energiemengen ausgestrahlt werden? Warum geht es, damit verglichen, in unserem Milchstraßensystem ruhig zu?

Unsichtbarer Schlund

Wahrscheinlich tragen fast alle Galaxien in ihren Zentren extrem massereiche Schwarze Löcher. Darauf deuten neuere Beobachtungen hin, denn man kann diese Massemonster untersuchen, obwohl sie nicht direkt zu sehen sind. In ihrer unmittelbaren Umgebung bewegen sich die Sterne wegen der starken Schwerefelder extrem schnell. Und das kann man messen. Auch unsere Milchstraße beherbergt ein Schwarzes Loch.

Im Sternbild Schütze blicken wir auf jenen Punkt in unserer Milchstraße, um den herum sich alle Sterne bewegen. Es ist keine besonders aufregende Gegend. Man hat dort nur eine schwache Radioquelle gefunden, sie heißt Sagittarius A* (AH 4/2003, S. 36). In den letzten Jahrzehnten untersuchte eine Forschergruppe um Reinhard Genzel vom Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching, wie sich die Sterne in dieser Gegend bewegen (AH März/April 2003, S. 10). Die Wissenschaftler fanden heraus, dass alle Sonnen ihre Bahnen um Sagittarius A* ziehen. Ihre Bewegungen verraten uns, dass dort, wo man nichts sieht, eine Materieansammlung von etwa vier Millionen Sonnenmassen stehen muss. Sie zwingt mit ihrer Schwerkraft die Sterne auf deren Umlaufbahnen.

Warum aber leuchtet dann in unserer Milchstraße kein Quasar? Weil das Schwarze Loch dort nur aktiv wird, wenn Materie hineinfällt. Normalerweise »rieseln« nur Gas und Staub hinein, die den interstellaren Raum erfüllen, und dabei entsteht wenig Strahlung. Erst wenn sich Scharen von Sternen nahe dem Schwarzen Loch auflösen würden, um dann in den Abgrund zu stürzen, würde das Zentrum der Milchstraße als Quasar aufleuchten (AH Oktober/2005, S. 14). Die Sonnen im Innern unserer Heimatgalaxie scheinen aber auf recht stabilen Bahnen zu kreisen. Nur ganz selten verirrt sich eine in den gefährlichen Schlund.

Sitzt unser Schwarzes Loch hungernd im Zentrum und wartet darauf, dass es gefüttert wird? Und wer füttert die Schwarzen Löcher in aktiven Galaxien und Quasaren? Warum bewegen sich die Sterne in ihrem Umkreis so chaotisch, dass ständig welche herunterfallen?

Würde man eine dieser Galaxien kräftig durchrütteln, dann veränderten sich die Bahnen der Sterne und für einige Zeit würden viele von ihnen in das Schwarze Loch stürzen. Wie aber werden Galaxien geschüttelt? Wenn zwei Sternsysteme zusammenstoßen, bringen ihre Schwerkräfte die Bewegungen der Himmelskörper durcheinander und die galaktischen Zentren leuchten als Quasare auf, bis wieder Ordnung einkehrt. Dann wird das Sternsystem wieder zur biederen Galaxie ohne aktiven Kern. In diesem Bild ist das Quasarstadium nur vorübergehend, wie etwa die Masern bei einem Menschen. Es währt vielleicht nur ein Hundertstel der Lebenszeit einer Galaxie.

Von den Radiosternen, die sich später als Quasare entpuppen sollten, hatte ich schon 1962 während eines Aufenthalts am California Institute of Technology (Caltech) in Pasadena, USA, gehört. Ich habe noch heute im Ohr, wie eineinhalb Jahre vor der Konferenz in Dallas ein Kollege beim gemeinsamen Mittagessen ausrief: »Jetzt haben wir den ersten Radiostern!«

Damals in den 1960er Jahren lernte ich auch den Astronomen Hong Yee Chiu kennen, der später das Wort Quasar prägte. Es war wieder bei einem Essen, diesmal in einem chinesischen Restaurant. Wir haben an diesem Abend aber nicht über Radiosterne gesprochen. Stattdessen habe ich bewundert, wie es ihm gelang, einem Hühnerbein mit Stäbchen beizukommen.

Wenn ich es mir recht überlege, war meine Rolle bei der Erforschung der Quasare wohl mehr die eines Mitessers. <<

Rudolf Kippenhahn leitete von 1975 bis 1991 das Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching. Seither lebt er als Schriftsteller in Göttingen.

Blue Moon …

Wie der Elvis-Hit zu seinem Titel kam oder warum der Mond blau sein kann.

>> Christian Pinter

Tief am Horizont läuft »Frau Luna« schamrot an. Steigt sie höher, wird ihr Teint golden und schließlich strahlend weiß. Wohl aus diesem Grund brachten die Alchemisten den Mond einst mit dem Element Silber in Verbindung. Das weitaus edlere Gold hingegen blieb der Sonne vorbehalten. Doch worauf basiert der Titel des berühmten Elvis-Hits »Blue Moon«? So gut wie nie leuchtet Luna in dieser Farbe, abgesehen vielleicht von ganz raren Momenten, wenn die Luft nach großen Waldbränden oder Vulkanausbrüchen mit Asche- oder Staubteilchen erfüllt ist und Lichtstreuungseffekte tatsächlich ungewöhnliche Mondfarben bewirken. So etwas geschieht allerdings höchstens »alle Jubeljahre einmal«. Engländer oder Amerikaner haben daher für ein seltenes Ereignis den Ausdruck »once in a blue moon«.

Im alten Rom waren die Monate zunächst an den Rhythmus der Mondphasen angepasst. Sie begannen mit dem ersten Sichtbarwerden der zarten Sichel nach Neumond, also alle 29 oder 30 Kalendertage. Später entkoppelten die Römer den Monat vom Mondlauf, bis alle zwölf Monate die uns heute vertrauten Längen und Namen besaßen. Den März hatten die Priester dem Kriegsgott Mars geweiht, den Juni Jupiters Gattin Juno. Die Bezeichnungen für Juli und August huldigten den Kalenderreformatoren Julius Cäsar und Augustus.

Bis in das 16. Jahrhundert lauteten in Deutschland die Monatsnamen aber ganz anders. So hieß der Juni etwa Brachmonat, der Juli Heumonat, der August Ährenmonat. Der jeweilige Vollmond trug den gleichen Namen, also beispielsweise Brachmond oder Heumond. Die genauen Bezeichnungen variierten je nach Kulturkreis.

Folgenschweres Missverständnis

Einmal pro Monat, zwölfmal im Jahr, rundet sich die Silberscheibe des Monds im Takt von 29,53 Tagen. Doch alle Jubeljahre einmal lacht uns der erste Vollmond des Jahres, der »Schneemond«, bereits in den ersten Januartagen an. In diesem Fall gibt sich Frau Luna später, im letzten Dezemberdrittel, noch ein 13. Mal die Ehre – in einem Kalendermonat gibt es dann gleich zwei Vollmonde. Solche Zugaben finden etwa siebenmal in 19 Jahren statt.

Der »Maine Farmers' Almanac«, ein Jahrbuch aus dem amerikanischen Bundesstaat Maine, führt die alten Vollmondnamen noch im 20. Jahrhundert auf. Im Frühling nannte er den »Eimond«, »Milchmond« und »Blumenmond«, im Sommer »Heumond«, »Kornmond« und »Fruchtmond«. Manchmal jedoch fielen nicht nur drei, sondern gleich vier Vollmonde in eine Jahreszeit. Dadurch würden die regulären Mondnamen nach vorne verschoben: der »Herbstmond« vor den Herbstbeginn, der »Mond nach Weihnachten« noch vor das große Fest. Um das zu vermeiden, erklärte das Jahrbuch den jeweils dritten Vollmond dieser Jahreszeit zum neutralen »Blue Moon« – vielleicht seiner Seltenheit wegen.

Bereits 1943 erläuterte Laurence Lafleur dieses Vorgehen in Sky & Telescope. Drei Jahre später zitierte der Amateurastronom James Hugh Pruett in der gleichen Zeitschrift aus Lafleurs Text und dem Almanach. Er hatte die Regel jedoch falsch verstanden und glaubte, der zweite Vollmond innerhalb eines Monats heiße »Blue Moon«. Die Radiojournalistin Deborah Byrd verbreitete schließlich 1980 Pruetts Version über den Äther und 1986 übernahm eine Ausgabe des Brettspiels Trivial Pursuit die irrige Definition.

Optisch unterscheidet sich ein Blue Moon überhaupt nicht von anderen Vollmonden (anders als auf den Bildern oben). Nur sein seltenes Auftreten verleiht ihm seinen Namen. Die römische Jagdgöttin Diana wählte nach römischem Glauben nachts die Erscheinungsform der Mondgöttin Luna. Künstler stellten sie daher gerne mit Fackel in der Hand und Mondsichel auf dem Kopf dar (rechts).

ALLE FOTOS: CHRISTIAN PINTER

Ab 1988 begann der internationale Siegeszug des Begriffs. »Blue Moon« nannten sich Cafés, Discos, Detektivbüros oder Taxi-Unternehmen. Später sollten noch ein spanisches Kreuzfahrtschiff, ein deutsches Kartenspiel und ein österreichischer Kinofilm hinzukommen. Es schien, als entstamme die Bezeichnung einem alten Brauch längst vergessener Herkunft. Erst 1999 forschte S&T nach und grub Pruetts und Lafleurs Artikel wieder aus. Zu spät: Der Name war längst untrennbar mit dem zweiten Vollmond eines Monats verknüpft.

Optisch unterscheidet sich ein Blue Moon nicht von anderen Vollmonden. Ohne Kalender würde man ihn gar nicht erkennen. Wie konnte der Titel dennoch so schnell populär werden? Die Antwort steckt in der Geschichte – und in der Musik. Mittelalterliche Astrologen hatten die Mondphasen für alles Mögliche verantwortlich gemacht, auch für die Stimmungen des Gemüts. Unser Wort Laune entspringt dem lateinischen »Luna« – der römischen Bezeichung für den Mond. Überglückliche Menschen sind im Englischen »over the moon«, melancholische oder trübsinnige hingegen »blue«.

In einer solchen Seelenlage schrieben offenbar Lorenz Hart und Richard Rodgers 1934 den bekannten Hit »Blue Moon«. Darin erfüllt der Mond den Wunsch eines traurigen Menschen nach Zweisamkeit und verwandelt sich dann in Gold. 1941 nahm Gene Sullivan das Lied »When My Blue Moon Turns To Gold Again« auf. Es beschwört alte Erinnerungen und die Hoffnung, die Geliebte irgendwann wieder in die Arme nehmen zu können. Musikfreunde kannten den Begriff also schon, bevor er erstmals in S&T auftauchte.

Musikalischer Liebeskummer

Im Jahr 1947 ließ Bill Monroe musikalisch den »Blue Moon of Kentucky« scheinen – speziell auf jene untreue Dame, die ihn zuvor im schimmernden Mondlicht verlassen hatte. Elvis Presley musizierte mit den »Blue Moon Boys« und spielte zwischen 1954 und 1956 alle drei bisher genannten Blue-Moon-Songs ein. Einst hatte ihn die spätere Country-Legende Johnny Cash auf Reisen durch die USA begleitet. Cashs älteste Tochter Rosanne sang später die Ballade »Blue Moon With Heartache« – zwei Jahre nach Deborah Byrds folgenschwerer Radiosendung. Darin geht es um eine kummervolle Nacht in einer längst erkalteten Beziehung. 1984 redete sich schließlich Nanci Griffith in »Once In a Very Blue Moon« ein, den einstigen Geliebten nur noch ganz selten einmal zu vermissen.

Doch wann genau können Melancholiker und unglücklich Verliebte nun zum realen Blue Moon aufblicken? Im allzu kurzen Februar betritt der »blaue Mond« niemals das Firmament. Und während der 31-tägigen Monate gastiert er etwas häufiger am Himmel als während der 30-tägigen.

In diesem Jahr präsentiert sich der Brachmond schon am 1. Juni um 3 Uhr früh in seiner vollen Pracht. Deshalb schafft Luna am 30. noch ein Come-back als Blue Moon. Ihr nächster Auftritt unter diesem Namen ist bereits für Silvester 2009 gebucht – im Duett mit einer partiellen Mondfinsternis. Exakt 19 Jahre später wird sich ein »blauer Mond« sogar völlig verfinstern und ein düsterrotes Kleid für seinen großen Auftritt wählen. <<

Christian Pinter, promovierter Wiener Politikwissenschafter, schreibt Artikel mit Schwerpunkt Astronomiegeschichte.

Eine Nasenlänge voraus

Macht ein Zentimeter mehr Öffnung bei Apochromaten einen Unterschied? Wir testeten den Megrez 90 von William Optics.

>> Stefan Seip

Neunzig Millimeter sind mehr als achtzig Millimeter. Und genau diesen Vorsprung hat der kleine Refraktor Megrez 90 im Handtaschenformat von William Optics gegenüber seinen kleineren Achtzig-Millimeter-Geschwistern, von denen ich vier in einem früheren Vergleichstest bereits ausführlich unter die Lupe genommen habe (AH März 2007, S. 60). Machen aber zehn Millimeter mehr beim Durchmesser des Objektivs wirklich einen Unterschied? Ich wollte es genau wissen und schickte auch das neue William Optics mit neunzig Millimeter Öffnung und 621 Millimeter Brennweite auf die Teststrecke.

Trotz der etwas größeren Öffnung kann dieser kleine, apochromatisch korrigierte Refraktor immer noch als extrem handlich bezeichnet werden. Mit zurückgeschobener Taukappe und eingefahrenem Okularauszug können Sie ihn in dem zum Lieferumfang gehörenden kleinen Alukoffer leicht transportieren und immer und überall dabei haben. Speziell für Urlaubsreisen ist ein solches Gerät wirklich zu empfehlen. Oft finden Sie nämlich an Ihrem Ferienziel einen sehr viel dunkleren Sternhimmel vor als zu Hause. Außerdem haben Sie im Urlaub Zeit und Muße, sich die klaren Nächte um die Ohren zu schlagen. Dann ist ein Teleskop mit kleiner Öffnung besser als gar kein Teleskop!

Plastischer Saturn

Ich testete den Neunziger unter dem dunklen Himmel der Sternwarte in Welzheim (AH November 2006, S. 62). In ei-

ALLE FOTOS DES ARTIKELS: STEFAN SEIP

ner mondlosen Nacht mit mittelprächtiger Transparenz, aber geringem Luftflimmern (gutes »Seeing«) war der Planet Saturn mein erstes Beobachtungsziel. Ich verwendete ein Nagler-Zoom-Okular mit einer Brennweite von drei bis sechs Millimetern, mit dem Vergrößerungen von etwa 100- bis 200-fach möglich sind. Ein optimaler Anblick und ein ausgewogenes Verhältnis von Brillanz, Helligkeit und Schärfeeindruck boten sich bei 150-facher Vergrößerung. Hätte Galilei ein solches Fernrohr gehabt, wäre ihm die Entdeckung der Saturnringe nicht versagt geblieben!

Majestätisch und scheinbar schwerelos schweben sie um die Planetenkugel. Ohne Mühe konnte ich auch die Cassinische Teilung erkennen, die größte der dunklen Lücken im Ringsystem. Das Bild erscheint deshalb so plastisch, weil der Schatten des Rings auf dem Planeten und auch der Planetenschatten auf dem Ring sichtbar sind. Die Saturnkugel ist ziemlich strukturlos, doch fällt eine helle Wolkenbinde in der Äquatorzone auf. >

Technische Daten	
William Optics Megrez 90 Apo	
Typ/Anzahl Linsen	Doublet/2
Brennweite (mm)	621
Öffnungsverhältnis	f/6,9
Gewicht Tubus (kg)	3,1
Tubuslänge (mm) (Taukappe ein-/ausgezogen)	430/540
Preis (€, unverb.)	1100,–€
Webseite: www.williamoptics.de	

Die effektive Vergütung der Objektivlinsen unterdrückt fast alle Spiegelungen im Megrez 90 (oben). Das Attribut »handlich« kann bei diesem Refraktor durchaus wörtlich genommen werden (unten).

> Selbst die Saturnmonde Titan, Rhea und Tethys tauchten im Blickfeld auf. Dabei besitzt Tethys nicht einmal 10. Größe und steht nur einen Ringradius vom Planetenscheibchen entfernt.

Nun widmete ich mich dem, was kurzbrennweitige Linsenteleskope am besten können: ausgedehnte Objekte in einem großen Gesichtsfeld beobachten. Mein Lieblingsokular für solche Vorhaben ist das Nagler-31-Millimeter in der Form einer Handgranate. So ein kleines Fernrohr mit einem so mächtigen Okular sieht schon lustig aus. Aber der Zweck heiligt bekanntlich die Mittel: Die Kombination ergibt eine zwanzigfache Vergrößerung bei 4,5 Millimeter Austrittspupille und einem wahren Gesichtsfeld von rund vier Grad, also acht Vollmond-Durchmessern!

Die Plejaden (M45), den Orionnebel (M42) und den Sternhaufen Krippe (M44) ließen sich im riesigen Gesichtsfeld ohne Sucherfernrohr einstellen. Alle Objekte bieten einen wunderbaren Anblick. Bei Sternhaufen ist es wichtig, sie im Umfeld mit weniger Sternen zu sehen. Andernfalls ist der Eindruck, eine Gruppe von Sternen zu beobachten, nicht so deutlich. Die Bildschärfe ist fast bis zum Rand des Gesichtsfelds tadellos.

Sichtbarer Vorteil

Höhepunkt für Beobachtungen mit großem Gesichtsfeld sind jene Himmelsregionen, wo es gelingt, mehr als ein Deep-Sky-Objekt im Okular zu positionieren. Mein erstes Ziel ist der Doppelsternhaufen h und Chi Persei im Sternbild Perseus. Doch der Himmelshintergrund ist mir zu hell, sodass ich auf ein 16-Millimeter-Nagler-Okular umsteige.

Zwar schrumpft das Gesichtsfeld bei zunehmender Vergrößerung (nun knapp 40-fach), doch beide Sternhaufen haben immer noch bequem im Gesichtsfeld Platz. Schwächere Sterne im Zentrum werden plötzlich sichtbar. Die Austrittspupille ist entsprechend kleiner, sodass der Himmel nun rabenschwarz aussieht, die zahllosen Sterne wie flackernde Diamanten. Herrlich!

Ich schwenke zum Galaxienpaar M81 und 82 im Großen Wagen. Innerhalb von M82 sind sogar Dunkelwolken zu erkennen, ein grandioser Anblick. Nicht weit davon entfernt ein besonderer Leckerbissen: M97, der Eulennebel, und M108. Zwar erkenne ich keine Details, aber der Eindruck von zwei völlig verschiedenartigen Deep-Sky-Objekten im Okular fasziniert mich – weniger dagegen die Galaxie M51, die so wie ihr kleiner Begleiter lediglich als nebliges Fleckchen zu erkennen ist. Ein Teleskop mit neunzig Millimeter Öffnung ist eben keine Lichtkanone. Schwierige Objekte für kleine Öffnungen sind daher Kugelsternhaufen. Reicht die Öffnung nicht aus, um sie in Einzelsterne aufzulösen, erscheinen auch sie als unspektakuläre Nebelflecken. Ich versuchte M3 in den Jagdhunden, an der Grenze zum Sternbild Bärenhüter. Erst bei hoher Vergrößerung gelang es mir Einzelsterne zu sehen. Freilich ist das mit diesem Gerät nur bei den größten und hellsten Kugelsternhaufen des Himmels möglich, aber immerhin! Ich habe den Eindruck, dass gerade in dieser Disziplin zehn Millimeter mehr Öffnung einen sichtbaren Vorteil bringen. Meine Testdoppelsterne Kastor in den Zwillingen und Algieba im Löwen meisterte der Neunziger von William Optics jedenfalls mit Bravur.

Doch nach der Kür nun die Pflicht: Ein Sterntest sollte Aufschluss über die Güte des Objektivs geben. Zuerst visierte ich Kapella im Sternbild Fuhrmann an, um festzustellen, wie gut die chromatische Aberration korrigiert ist. Immerhin nennt sich das Gerät »Apochromat«. Die hohen Erwartungen, die an diese Bezeichnung geknüpft sind, wurden fast erfüllt. Bis zur 150-fachen Vergrößerung konnte ich absolut keinen Farbfehler erkennen, darüber einen lichtschwachen,

dunkelvioletten Saum um den hellen Stern, der aber keineswegs störend in Erscheinung trat. Im Schulnotensystem würde ich dem Kandidaten daher eine »Zwei plus« geben.

Um das Beugungsbild bei höchsten Vergrößerungen anschauen zu können, wählte ich einen etwas lichtschwächeren, zenitnahen Stern aus. Bei 300-facher Vergrößerung zeigten sich um das zentrale Sternscheibchen zwei Beugungsringe, die jedoch nicht kreisrund, sondern eiförmig waren. Der Übeltäter war schnell identifiziert: der mitgelieferte Zwei-Zoll-Zenitspiegel von William Optics! Nachdem ich ihn gegen einen anderen ausgetauscht hatte, sah die Sache besser aus. Zwar wurden die Beugungsringe auch damit nicht exakt kreisrund, näherten sich dieser Idealform aber deutlich an. Fazit: eine »Zwei plus« für den Neunziger auch im Sterntest.

Bei Tageslicht inspizierte ich den Refraktor dann von außen. Die blütenweiße Tubuslackierung gefällt mir persönlich besser als jede noch so aufwändige Metallic-Lackierung. Der goldene Ring am hinteren Ende der Taukappe ist ein unverwechselbares Markenzeichen von William Optics. Sein schwarzer Okularauszug glänzt, als wäre er mit Speck eingerieben. Das macht einen edlen Eindruck. Doch auch funktional kann er punkten: Ein butterweicher Crayford-Antrieb mit einem untersetzten, zweiten Fokusknopf ermöglicht eine sehr präzise Scharfstellung. Beim Arbeiten mit hohen Vergrößerungen möchte ich darauf nicht mehr verzichten. Der Auszug ist um die optische Achse drehbar. Die Klemmung des Zwei-Zoll-Zubehörs erfolgt über einen Messingring, sodass unschöne Druckstellen an Okularen und Zenitprismen unterbleiben. Nützlich ist auch eine Skala, die den einmal gefundenen Schärfepunkt einer bestimmten Konfiguration reproduzierbar macht.

Wirksamer Reflexionsschutz

Leider lässt sich der Auszug nicht so weit einfahren, dass ich mit meinem Baader-Großfeld-Binokularansatz ohne brennweitenverlängernde Linsen den Fokus treffe. Umgekehrt ist er auch nicht weit genug herausfahrbar, um mit einer angeschlossenen Kamera ein scharfes Bild zu erhalten. Dazu ist eine Verlängerungshülse notwendig. >

Praxistest an der Sternwarte Welzheim

Große Auswahl, kompetente Beratung, guter Service!

Aber damit geht es bei uns erst los! Bevor wir zu einem bestimmten Kauf raten, wollen wir sicher sein, Ihnen auch wirklich das Optimum des Verfügbaren in Bezug auf Ihre Bedürfnisse, Größe, Transportabilität, Qualität und Preis aus der Vielzahl der Marktanbieter herausgesucht zu haben. Wir stellen auf Wunsch das Instrument nicht nur auf, sondern wir weisen ein, beraten beim Zubehör, geben Ihnen Beobachtungstipps, ja wir beobachten auf Wunsch sogar mit Ihnen, um Ihnen den Einstieg in Ihr neues Hobby so angenehm und so einfach wie nur möglich zu machen.

Und wenn's denn eine eigene Sternwarte sein soll, haben wir auch die passenden Beobachtungs-Kuppeln dazu. Von 2,3m über 3,2m bis 4m als preisgünstige Standardmaße und darüberhinaus als Sonderanfertigung bieten wir unsere Kuppeln nun bereits seit vielen Jahren in Europa an. GFK (glasfaserverstärkter Kunststoff) als aus dem Bootsbau bekanntes und bewährtes Material bietet sich für Kuppeln ideal an. Unsere GFK Astro-Kuppeln sind mehrteilige, verwindungssteife und formschöne Kuppelkonstruktionen aus Glasfaser-Polyesterkunststoff mit einem Kopfüber-Schiebetor und einer

NEU: 20x80 Groß-Fernglas mit Panorama-Montierung und Stativ - ***jetzt nur € 799,00!***

Preis-Reduzierung!

Ausstell-Horizontklappe (Größen ab 5m können alternativ mit seitlich verschiebbaren Toren hergestellt werden – wie zB. „Mount Palomar").

Profitieren Sie von der über 20-jährigen Erfahrung unserer Mitarbeiter, sprechen Sie mit unseren Fachkräften und vereinbaren Sie einen unverbindlichen Beratungstermin in unserem Ausstellungsraum. Wir freuen uns darauf, Sie bei uns begrüßen zu dürfen!

Viele weitere interessante Produkte sowie eine aktuelle Schnäppchenliste mit günstigen Angeboten finden Sie im Internet unter **www.astrocom.de**!

ASTROCOM GmbH/Abt. 3 • Fraunhoferstraße 14
D-82152 MÜNCHEN-Martinsried
☎ ☺ (089) 8583 660 • Fax (089) 8583 6677
eMail: service@astrocom.de • www.astrocom.de

Ein T-Shirt
mit Botschaft

Sowohl »Pioneer 10« als auch »Pioneer 11« haben eine vergoldete Plakette an Bord – für den Fall, dass intelligente Außerirdische die Sonde dereinst finden sollten. Unser T-Shirt Pioneer zeigt diesen originellen »Gruß von der Erde«: Zu sehen sind unter anderem ein Diagramm des Sonnensystems (unten), ein Hyperfeinstruktur-Übergang des Wasserstoffatoms (oben) sowie die Position der Sonne relativ zu 14 Pulsaren und dem Zentrum der Milchstraße (links).
Farbe: weiß ; Größe XL, 100 % Baumwolle.
Preis: 14,50 € (zzgl. Versand). Diese und weitere Geschenkideen finden Sie unter

www.spektrum.de/lesershop

Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH | Slevogtstraße 3–5 | 69126 Heidelberg | Tel 06221 9126-743 | Fax 06221 9126-751 | service@spektrum.com

Spektrum DER WISSENSCHAFT Wissen aus erster Hand

Einziger Schwachpunkt des Megrez 90 ist der im Lieferumfang enthaltene Zenitspiegel.

> Der Tubus ist innen mit einigen Blenden ausgestattet, um Streulicht wirksam zu unterdrücken. Die beiden Objektivlinsen sind aufwändig vergütet. Je nach Lichteinfall hat man Mühe, die Linsen überhaupt zu erkennen, so wirksam ist der Reflexionsschutz (siehe Abbildung S. 62 oben). Ein stabiler, L-förmiger Fuß erlaubt die sichere Befestigung auf einer Montierung oder – dank dem Stativgewinde – auf einem robusten Fotostativ. Bei Verwendung der als Zubehör gesondert erhältlichen Rohrschellen dient der Fuß dann als Montageplattform für einen Sucher.

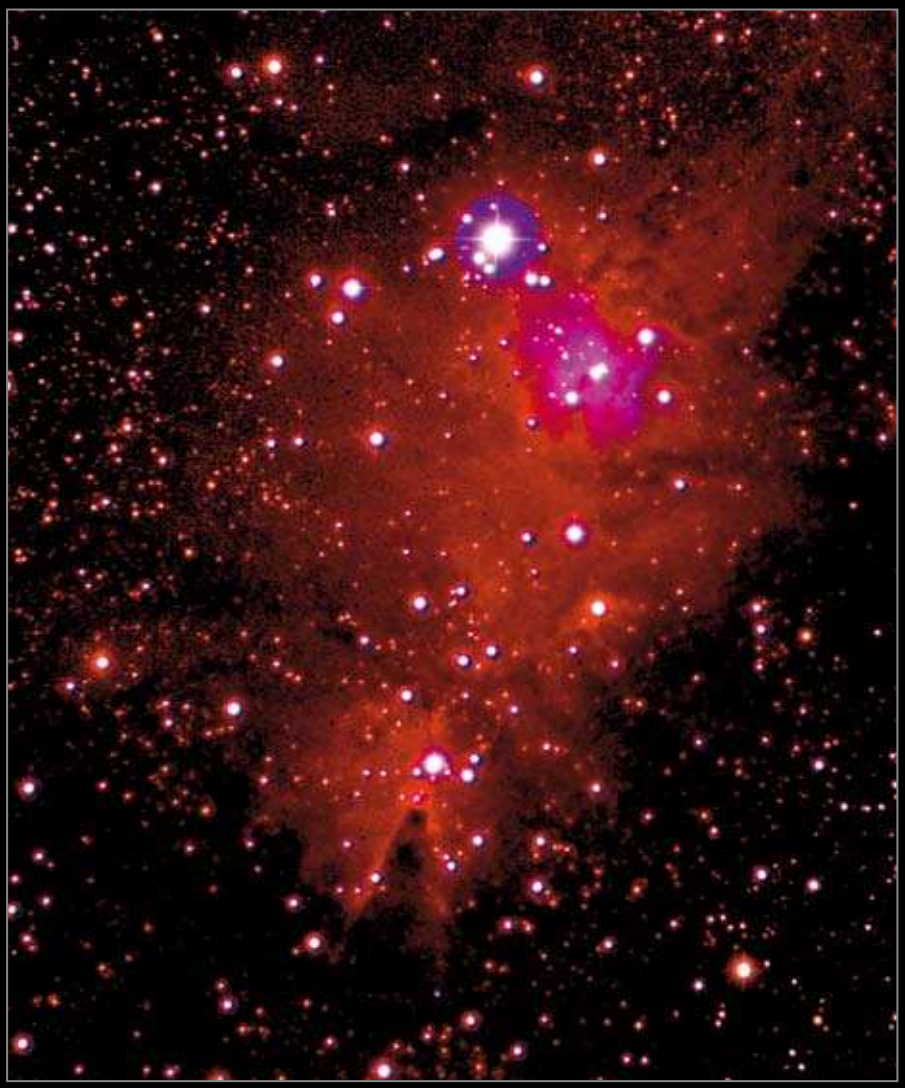
Wie sieht der direkte Vergleich mit den Achtzig-Millimeter-Refraktoren nun aus? Um ehrlich zu sein, werden Sie das Plus durch die zehn Millimeter größere Öffnung nur in wenigen Fällen spüren, etwa beim Auflösen von Kugelsternhaufen oder wenn es um winzige Details auf Planeten geht. Das Öffnungsverhältnis von f/6,9 ist nicht »schneller« als das der Achtzig-Millimeter-Konkurrenz aus dem Vergleichstest, sodass sich für Astrofotografen bei geringfügig längerer Brennweite die gleichen Belichtungszeiten ergeben. Man muss schon sehr genau hinschauen, um einen Gewinn durch die größere Öffnung zu erkennen. Schaden tut sie, das ist die andere Seite der Medaille, natürlich auch nicht.

Der Megrez 90 von William Optics leistet sich keine nennenswerten Schwächen. Dennoch würde ich, wenn ich die Wahl hätte, wohl zu den noch kompakteren Refraktoren der Achtzig-Millimeter-Klasse greifen – oder, wenn deren Öffnung nicht ausreichen sollte, gleich den Sprung zu einem echten Vierzöller mit hundert Millimeter Öffnung wagen. <<

Stefan Seip schaut seit seinem 14. Lebensjahr in den Nachthimmnel. Heute betreibt er hauptsächlich Astrofotografie.

Ferne Welten

Die Ziele außerhalb des Sonnensystems reizen viele der Astrofotografen unter unseren Lesern. Die Ergebnisse können sich mit denen der Profis messen.



Ja, ist denn heut schon Weihnachten?

Der Christmas Tree Cluster NGC 2264, ein offener Sternhaufen, ist in einen rötlich leuchtenden Gasnebel eingebettet und steht am Himmel auf dem Kopf. Am unteren Bildrand hebt sich an seiner Spitze dunkel der Konusnebel ab.

>> Siegfried Bergthal

Rentnertreff

M 67 im Sternbild Krebs ist einer der ältesten offenen Sternhaufen: Seine Mitglieder sind fast so alt wie unsere Sonne. In der Regel bleiben die Sterne eines Haufens nur wenige Millionen Jahre beieinander.

>> Anthony Ayiomamitis

Auf die Kante

Bei der Galaxie NGC 3628 im Sternbild Löwe blicken wir direkt auf ihre Seite, sodass die Gaswolken in ihrer Ebene gut zu sehen sind – wenn man insgesamt 3,7 Stunden belichtet ...

>> Dietmar Hager

Flammender Himmel

Im März führte die ASTRONOMIE HEUTE-Leserreise in den hohen Norden. Die Teilnehmer der Skandinavienreise erlebten beeindruckende Polarlichter.

Lust auf mehr?
Die nächste Polarlichtreise von ASTRONOMIE HEUTE findet vom 5. bis zum 17. Oktober 2007 statt, danach gibt es im März 2008 eine weitere Gelegenheit. Info bei: Wittmann Travel, Hamburg, Tel.: 040 851053-76, Fax: 040 851053-77, E-Mail: info@wittmann-travel.de; Web: wittmann-travel.de, astronomie-heute.de/leserreisen

Geisterhaftes Grün füllte den Himmel über der schneebedeckten Landschaft rund um den Inarisee im Norden Lapplands. Obwohl die Sonnenaktivität zurzeit sehr gering ist, herrschen nördlich des Polarkreises stets gute Bedingungen für dieses Schauspiel, das die Teilnehmer der Leserreise staunen ließ.

>> Cornelia Henke-Gendo (alle Fotos)

Machen Sie mit: Wir freuen uns über Ihre »Glanzlichter« – schicken Sie uns Ihre besten Astrofotos!
Aus allen Einsendungen wählen wir einige der schönsten aus und veröffentlichen sie im Heft. Bitte senden Sie uns hoch aufgelöste JPEG-Bilder, jedoch keine Download-Links, CDs oder Zip-Archive. Geben Sie bitte auch Details über Teleskop, Kamera oder Aufnahmetechnik an. Abzüge und Diapositive können nur zurückgesandt werden, wenn ein frankierter Rückumschlag beiliegt.

Adresse: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH • Redaktion ASTRONOMIE HEUTE • Stichwort: Glanzlichter
Postfach 10 48 40 • 69038 Heidelberg • E-Mail: glanzlichter@astronomie-heute.de

Klarer Himmel über New Mexico

LINKS BEIDE: STEFAN SEIP; RECHTS: KARL BENZ

Haben Sie sich auch schon über einen ständig bewölkten Himmel geärgert? Dann träumen Sie vielleicht von der Möglichkeit, über das Internet auf Teleskope an anderen Orten der Welt zugreifen zu können. Zukunftsmusik? Keineswegs! Karl Benz aus Königstädten nahm die Andromeda-Galaxie (M 31) von New Mexiko/USA aus auf, ohne sich ein Flugticket kaufen zu müssen.

In dem kleinen Ort »New Mexico Skies« (www.nmskies.com) im Südwesten der Vereinigten Staaten wohnen fast ausschließlich Astronomen. In dieser Gegend herrschen optimale Wetterbedingungen für unser Hobby. Einige der dort aufgestellten Teleskope können Sie mieten und via Internet benutzen, ohne persönlich anwesend zu sein – darunter auch die Geräte von Arnie Rosner (www.arnierosner.com). Über diesen Service nahm Karl Benz unsere Nachbargalaxie ins Visier. Dafür standen ihm ein kleiner Refraktor (90 Millimeter Öffnung, 500 Millimeter Brennweite) und eine Kamera vom Typ Sbig ST-10 XME zur Verfügung. Die Bilder überließ er mir samt den passenden Dunkelbildern.

Von den sechs Aufnahmen, die jeweils nur eine Minute lang belichtet wurden, musste ich eine verwerfen, da sie nicht gut genug nachgeführt war und strichförmige Sterne zeigt. Von den verbleibenden fünf habe ich jeweils das Dunkelstrombild (Darkframe) abgezogen. Sehr komfortabel erledigt diese Aufgabe die kommerzielle Software »Maxim DL« (www.cyanogen.com). Dadurch verschwinden die vielen weißen Pünktchen im Bild, die so genannten Hotpixel. Normalerweise wird nun ein Hellfeldbild (Flatframe) verarbeitet, um Randabschattung (Vignettierung) und Flecken durch Schmutzpartikel im Strahlengang zu eliminieren. Allerdings gab es keine Flatframes, sodass ich diesen Schritt überspringen musste.

Der nun folgende Prozess ist sehr knifflig: Jetzt müssen die Einzelbilder passgenau ausgerichtet und die Helligkeitswerte gemittelt werden, um das Bildrauschen zu reduzieren. Auch dafür bietet Maxim DL ein leistungsstarkes Werkzeug. Der Befehl »Process/Combine« ruft ein entsprechendes Dialogfeld auf (Bild 1). Als Methode zum Überlagern der Bilder (»Align Mode«) wählte ich »Auto – star matching«. Dabei übernimmt die Software das deckungsgleiche Ausrichten automatisch. Unter »Output« entschied ich mich für »Sigma Clip«, ein Verfahren, bei dem Extremwerte einzelner Pixel ignoriert werden, was zu einem noch rauschärmeren Resultat führt als das arithmetische Mittel (»Average«).

Trotz der kurzen Belichtungszeit zeigten einige Sterne durch Übersättigung von Pixeln »Blooming«. Mit wenig Aufwand kann auch das in Maxim DL repariert werden, nämlich über den Befehl »Process/Remove Bloom …« (Bild 2).

Danach speicherte ich das Ergebnis ab und öffnete es anschließend in Photoshop. Dort nahm ich eine Tonwertkorrektur in mehreren Schritten durch Verbiegen der Gradationskurve vor (AH Mai/2006, S. 74), um die lichtschwachen Regionen der Galaxie sichtbar zu machen. Eine leichte Nachschärfung der hellen Bereiche, die ich zuvor mit der »Farbauswahl« selektiert hatte, führte zum fertigen Bild (3).

Vielleicht animiert das eindrucksvolle Ergebnis ja zu weiteren Aufnahmen mit Rot-, Grün- und Blaufiltern, damit ein farbiges Bild entsteht. <<

Einzelbilder überlagern ist mit dem Programm Maxim DL kein Hexenwerk (1). Auch das »Blooming« überbelichteter Sterne lässt sich mit dem Pogramm beseitigen (2). Das Ergebnis ist eine beeindruckende Aufnahme der Andromeda-Galaxie M 31 (3).

Fototipps vom Experten

Ein schönes Motiv – doch Ihr Bild ist nicht optimal geworden? Astrofotograf Stefan Seip gibt Ihnen Tipps, wie Ihre Fotos noch besser werden. Schicken Sie uns Ihre bearbeitete Aufnahme und das Rohbild zu!
redaktion@astronomie-heute.de

Stefan Seip

TEIL 1

Lichter über der Großstadt

Optimale Beobachtungsbedingungen sind schwer zu finden. Beeindruckende Bilder sind heute aber auch aus der Stadt möglich!

>> Mark Achterberg

Die Aufnahme der lichtschwachen Objekte jenseits unseres Sonnensystems ist unter einem aufgehellten Himmel nicht möglich und erfordert daher zwangsläufig ein Ausweichen in dunkle Gegenden.« Diese oder ähnliche Aussagen waren noch vor kurzer Zeit in der Literatur und in Astrofotografenkreisen üblich.

Glücklicherweise ist Ortsgebundenheit heute kein K.-o.-Kriterium mehr, wenn es um Deep-Sky-Fotos geht. Inzwischen ist auch aus dem Stadtgebiet heraus vieles möglich, wenn Sie einige Regeln beachten. Die wichtigsten Methoden, um das Beste aus »Ihrem« Himmel herauszuholen, wie auch deren Grenzen, möchte ich hier beschreiben.

Es gibt viele Gründe, in der Stadt zu bleiben, obwohl das Land wesentlich bessere Beobachtungsbedingungen bietet: Zum Beispiel hat nicht jeder ein (ausreichend großes) Auto zur Verfügung, die Ausrüstung ist möglicherweise nicht transportabel oder es gibt gesundheitliche Einschränkungen. Oft ist die Zeit ein Problem. Fahren Sie raus aufs Land, geht das von Ihrer Beobachtungszeit ab. Außerdem können Sie Ihrem Hobby zuhause mit geringerem Aufwand auch unter der Woche nachgehen.

Mein Beobachtungsplatz liegt in einem nordwestlichen Außenbezirk von Berlin. Im Norden und Osten befinden sich weitere Stadtteile und größere Vororte, im Südosten der fünf Kilometer entfernte Flughafen Tegel und im Süden Berlin-Spandau, das allein schon rund 225 000 Einwohner hat und eine entsprechende Lichtverschmutzung aufweist. Auch im Südwesten liegt eine größere Ortschaft.

Das Licht der Stadt wird genau wie das des Monds von Wassertröpfchen in der Luft sowie von Staub, der überwiegend Abgasen entstammt, reflektiert. An diesen feinen Staubpartikeln kondensiert darüber hinaus auch noch Wasser. Ein Teil des Lichts der Deep-Sky-Objekte wird dadurch ins All zurückgeworfen. Insgesamt sinkt somit der Kontrast der Nebel oder Galaxien zum aufgehellten Himmelshintergrund dramatisch ab.

Es muss nicht immer der Idealstandort sein

Mein Beobachtungsfenster erstreckt sich überwiegend vom Zenit in Richtung Westen und ist etwa neunzig Grad breit. So schaue ich »nur« in die Richtung der kleineren Vororte und des beleuchteten Berliner Rings.

Die auf den Zenit hochgerechnete Grenzhelligkeit (ermittelt mit Hilfe des lichtschwächsten Sterns, den ich im Kleinen Wagen gerade noch erahnen kann) beträgt in guten Nächten etwa fst 5,3 – das heißt, der schwächste gerade noch sichtbare Stern (fst = faintest star) hat 5,3te Größe. Das dürfen Sie aber nicht mit dem Himmel direkt am Zielobjekt verwechseln. Fünfzig Grad über dem Horizont sind meist nur noch Sterne heller als 4. Größe zu erkennen. Objekte wie M 33, M 101 oder den Nordamerikanebel konnte ich dort noch nie sehen. Den Doppelsternhaufen h & Chi Persei kann ich in guten Nächten mit unbewaffnetem Auge gerade noch erahnen. Die Straßenlaternen blenden zwar bei der visuellen Beobachtung, dafür stören sie bei der Fotografie nur wenig.

Anfang 2001 kaufte ich mir mein erstes Teleskop. Da ich gerade die Farbenpracht und die Formenvielfalt der Deep-Sky-Objekte besonders faszinierend finde, die fürs Auge jedoch nur sehr unzureichend bis gar nicht wahrnehmbar sind, begann ich wenig später mit ersten Versuchen, die hellsten dieser Objekte auf Diafilm zu bannen. Um voranzukommen, las ich Bücher, Zeitschriften- und Internetartikel und verfolgte natürlich die Astronomieforen.

Zwei gewaltige Fortschritte sind dabei ganz besonders hervorzuheben: Der Einsatz von Lichtverschmutzungs- und Nebelfiltern sowie der Umstieg auf digitale Spiegelreflexkameras (DSLRs).

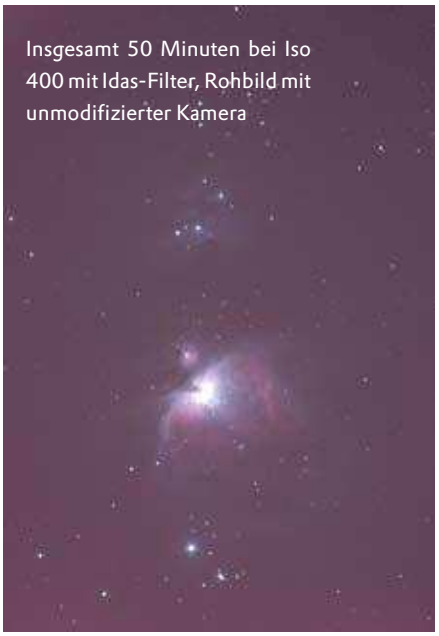
Grundsätzlich ist der Einstieg nicht so schwer, wie man nach der Lektüre der ersten Artikel oder Bücher meinen könnte. Wenn Sie die einschlägigen Tipps befolgen, erhalten Sie nach meiner Erfahrung überraschend schnell erste Ergebnisse, die Sie stolz vorzeigen können.

Ich will mich im Folgenden auf die Aspekte konzentrieren, die bei der Fotografie aus der Stadt heraus besondere Schwierigkeiten bereiten: Für die Fotografie benutze ich einen Zehn-Zoll-Newton-Reflektor mit 1200 Millimeter Brennweite und einen Achtzig-Millimeter-ED-Refraktor mit 600 Millimeter Brennweite. Wenn ich meine EQ6-Montierung einsetze, verwende ich zusätzlich einen 100/1000-Millimeter-Refraktor mit einer Webcam, um die Nachführung automatisch zu kontrollieren. Mit meiner GP-Montierung von Vixen nutze ich einen >

Leuchtende Farben wie hier beim Rosettennebel (NGC 2237 bis NGC 2239) erhalten Sie, wenn Sie mehrere Aufnahmen kombinieren und auf verschiedene Farbkanäle verteilen. In dieses Bild, das mit einem Achtzig-Millimeter-ED-Refraktor mit 600 Millimeter Brennweite (f/7,5) und Koma-Korrektor entstand, flossen zwei verschiedene Serien ein: Luminanz- und Rotkanal mit je 7 × 12 Minuten bei Iso 800 und H-Alpha-Filter sowie Grün- und Blaukanal mit je 8 × 7 Minuten bei Iso 800 und Idas LPS-P1-Filter.

Ausgedehnte Wasserstoffwolken bringen Farbe in dieses Foto des Nordamerikanebels (NGC 7000), das ebenfalls aus mehreren Aufnahmen zusammengesetzt wurde, allerdings aufgenommen mit einem Zehn-Zoll-Newton mit 1200 Millimeter Brennweite (f/4,8) und Koma-Korrektor. Zehn Aufnahmen à zwölf Minuten, mit Iso 800 und H-Alpha-Filter, flossen in Luminanz- und Rotkanal ein. Bei Grün- und Blaukanal reichten fünf Aufnahmen à acht Minuten mit Iso 400 und Idas-LPS-P1-Filter.

ALLE FOTOS DES ARTIKELS: MARK ACHTERBERG



Zweimal dasselbe Bild mit unterschiedlichen Kameras: Links der Orionnebel, wie er in einer handelsüblichen Kamera und dem Originalfilter erscheint, daneben dasselbe Objekt mit einer Kamera, deren Infrarotfilter entfernt wurde; rechts der Aufbau, der für die meisten Aufnahmen verwendet wurde

> 100/1300-Millimeter-Maksutow und führe manuell nach. Die Leitrohre befestige ich parallel zur Aufnahmeoptik auf einer Schiene (Bild oben rechts).

Der eigentlich wichtigste Teil der Ausrüstung in der Stadt sind aber die Filter. Benutzen Sie möglichst Interferenzfilter, die entweder die Lichtanteile der Straßenlaternen ausblenden (Lichtverschmutzungsfilter) oder nur ganz bestimmte Farben durchlassen und alles andere blockieren (Breitband- und Linienfilter). Der Kontrastgewinn hierbei entscheidet oft über Sehen oder Nichtsehen! Den Rosettennebel (Foto S. 73 oben) konnte ich ohne Filter in der Kamera nicht erkennen. Mit dem H-Alpha-Filter sprang er mich geradezu an.

In den Internetforen gibt es seit der Einführung astrotauglicher digitaler Spiegelreflexkameras zu erschwinglichen Preisen eine Vielzahl gelungener Aufnahmen. Die Techniken bei der Gewinnung und Verarbeitung der Bilder am Rechner sind in weiten Teilen die gleichen, die bei den immer noch sehr teuren Astro-CCD-Kameras zum Einsatz kommen.

Da die Empfindlichkeit der digitalen Bildsensoren anders als beim klassischen Film nicht mit wachsender Belichtungszeit abnimmt, sind sie für Aufnahmen unter lichtverschmutztem Himmel wesentlich besser geeignet. Ein Schwachpunkt ist jedoch die beschränkte Rot-Empfindlichkeit unmodifizierter Kameras, die Emissionsnebel deshalb kaum wahrnehmen. Diese Nebel leuchten nämlich vor allem im tiefroten H-Alpha-Licht. Auch die Farben der Sterne und Sternhaufen sind bei normalen Kameras deutlich ins Grün-Blaue verschoben.

Rotblind

Gegen die H-Alpha-Schwäche können Sie etwas tun: Entweder bauen Sie die Kamera selbst um beziehungsweise lassen sie durch einen Händler modifizieren (AH 1-2/2007, S. 82) oder Sie kaufen gleich eine Astro-Variante. Bei den ersten beiden Optionen ersetzen Sie den originalen Infrarot-Sperrfilter durch ein Klarglas oder einen Astro-IR-Sperrfilter. Die Kamera ist dann jedoch nicht mehr voll für die normale Fotografie geeignet. Die dritte Option bietet Canon als EOS 20Da an. Dies ist eine vollwertige Normalfotokamera, die für das rote H-Alpha-Licht etwa zweieinhalbmal empfindlicher ist.

Ich verwende überwiegend eine mit einem Klarglas versehene EOS 300D. Die Empfindlichkeit bezüglich der roten Wasserstoffnebel ist bei meiner 300D auf Grund der Modifikation vier- bis fünfmal höher. Allerdings nutzt die beste Technik nichts, wenn Sie sie nicht ausreizen. Folglich müssen Sie bereits bei der Aufnahme sorgfältig arbeiten. Unscharfe Bilder kann kein Computer mehr retten.

Daher fokussieren Sie am besten über einen hellen Referenzstern in der Nähe des Ziels, da dieser danach gleich für die anschließende Objektpositionierung verwendet werden kann.

Wenn Sie einen Newton mit Fangspiegelstreben benutzen, führen diese zu so genannten »Spikes« – Lichtkreuzen an helleren Sternen, die Sie zum Fokussieren nutzen können. Bei anderen Teleskopen helfen künstliche Streben aus Holz vor der Öffnung. Die Spikes werden in der Nähe des Fokus doppelt abgebildet und rücken immer weiter zusammen, je näher Sie dem Fokus kommen. Sobald das Bild scharf ist, verschmelzen sie zu scharf abgebildeten Strichen. Da die Spikes im Sucher nicht zu sehen sind, belichten Sie ohne Nachführkontrolle fünf bis zehn Sekunden mit der höchsten Iso-Einstellung. Nun verstellen Sie den Okularauszug etwas, merken sich die Richtung, klemmen ihn fest und betrachten mit höchster Vergrößerung auf dem Display die Änderung gegenüber dem ersten Bild. Bei Canon-Kameras können Sie zwischen den Einzelbildern hin- und herspringen, ohne jedesmal die Zoomstufe neu einzustellen. Es ist nun recht einfach, in mehreren Schritten (zehn bis fünfzehn sind dabei normal) den Fokus zu finden.

In der Stadt ist es oft nicht möglich, ein Objekt direkt einzustellen – meist ist es nicht einmal im Okular zu sehen, geschweige denn im Kamerasucher. Haben Sie kein Go-to-Teleskop, stellen Sie die Teilkreise ihrer Montierung auf die Koordinaten des Fokussiersterns ein und arretieren sie. Nun können Sie die Koordinaten des Objekts über die Teilkreise anfahren und haben es damit im Bildausschnitt, wenn die Montierung richtig ausgerichtet ist.

Anschließend fertigen Sie mit dreißig Sekunden Belichtungszeit und Iso 3200 ein Testbild ohne Nachführkontrolle an. Jetzt sollte das Objekt im Display zu sehen sein, sodass Sie es noch endgültig zentrieren können. Andernfalls müssen Sie nach Überprüfung der Einnordung einen neuen Versuch angehen oder über weitere Testbelichtungen in der näheren Bildumgebung suchen.

Ich belichte im Allgemeinen so lange, bis der Himmelshintergrund die Pixel zu zehn bis zwanzig Prozent gesättigt hat (Bild unten). Dieses können Sie am besten im Histogramm beurteilen, das sich in das Kameradisplay einblenden lässt.

Haben Sie einen Filter im Strahlengang, der nahezu keine Lichtverschmutzung durchlässt, so ist die Belichtungszeit durch das »Verstärkerglühen« begrenzt. Bei meinen DSLRs liegt diese Grenze bei zwölf Minuten mit Iso 800. Mit steigender Außentemperatur sinkt die Maximalzeit. Generell sollten Sie unbedingt eine niedrige Iso-Einstellung bei entsprechend höherer Belichtungszeit bevorzugen. Durch die geringere Verstärkung und das Mehr an eingefangenen Photonen steigt der Kontrastumfang des Bilds deutlich an, es rauscht weniger und zeigt mehr Farbnuancen. Der Kontrast kann dadurch weiter angehoben werden und die Details kommen besser heraus. Mit zunehmender Belichtungszeit steigt aber auch die Gefahr, durchfliegende Flugzeuge, Wolken oder Nachführfehler wegen nachlassender Konzentration auf dem Bild zu haben. Sie müssem bei jeder Aufnahmesession »Ihren« Kompromiss finden.

Filter machen's möglich

Digitale Spiegelreflexkameras profitieren sehr vom Einsatz von Lichtverschmutzungsfiltern wie zum Beispiel dem Idas-Filter der Hutech Corporation. Wegen ihrer hohen Empfindlichkeit können Sie auch Breitband- (UHC) und sogar Linienfilter (H-Alpha, OIII) äußerst Gewinn bringend einsetzen. Diese machen viele Objekte unter lichtverschmutztem Himmel überhaupt erst sichtbar. Der Kontrast gegenüber dem Hintergrund steigt dramatisch an. Sie werden Details und schwache Bereiche erkennen, die sonst undenkbar wären.

Den Idas-Filter verwende ich für offene und Kugelsternhaufen, weil er ein farblich ausgewogenes Bild liefert. Außerdem nehme ich bei Bildern, bei denen ich den Rotkanal durch ein H-Alpha-Bild ersetzen will, den Grün- und Blaukanal jeweils durch den Idas-Filter auf. Für Galaxien und Reflexionsnebel ist der Idas ebenfalls erste Wahl. Nach meiner Erfahrung hilft der Filter hier aber weniger als bei Emissionsnebeln und Sternhaufen.

Leicht gesättigt statt tiefschwarz sollte der Himmelshintergrund sein. Diese Kompositaufnahme des Kugelsternhaufens M15 besteht aus zehn Bildern mit je vier Minuten Belichtungszeit bei Iso 400 und entstand mit Idas LPS-1 am Zehn-Zoll-Newton.

Den UHC-E-Filter von Astronomik muss ich bei meiner Kamera mit einem IR/UV-Sperrfilter kombinieren, da er Infrarotlicht durchlässt. Ich verwende dafür den Sperrfilter von Baader Planetarium. Besonders gut wirkt der Filter bei Planetarischen Nebeln oder bei Objekten wie dem Zirrus- oder Orionnebel, die jeweils starke H-Alpha- und OIII-Anteile haben. Diese beiden Wellenlängen lässt der Filter durch. Die kontraststeigernde Wirkung der UHC-Filter ist bedeutend größer als die des Idas-Filters.

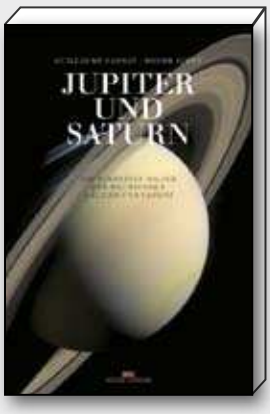
Den maximalen Kontrastgewinn erreichen Sie durch die Verwendung von Linienfiltern wie den H-Alpha- oder OIII-CCD-Filtern. Sie helfen bei galaktischen Nebeln oder Galaxien mit hohen Wasserstoffanteilen sowie bei sauerstoffhaltigen Objekten wie Planetarischen Nebeln oder Supernova-Überresten.

Es klingt unsinnig, mittels eines Filters mit einer Farbkamera monochrome Bilder zu erzeugen. Trotzdem erhalten Sie in den jeweiligen Wellenlängen einen Kontrast, der seinesgleichen sucht. Entweder begnügen Sie sich mit einem kontrastreichen Schwarz-Weiß-Bild oder Sie verwenden dieses als Farbkanal und/oder zur Anreicherung des Luminanzbilds, um die Nebel besser herauszuarbeiten. Nach meinen Erfahrungen ist es empfehlenswert, die H-Alpha-Aufnahmen als Rotkanal und Luminanzanteil zu verwenden.

Die OIII-Aufnahmen machen sich gut, wenn sie mit den Blau- und Grünkanälen von Idas-Aufnahmen kombiniert werden. Ausgewogene Sternfarben zu erreichen ist jedes Mal eine Herausforderung, der Sie mit einer unterschiedlichen Gewichtung der Idas- und Linienfilter-Kanalanteile begegnen können. Hier muss experimentiert werden!

Wenn Sie Linienfilter verwenden, sollten Sie möglichst lange belichten, um so den größtmöglichen Kontrast zu erzielen. Dann können Sie aber nur noch an den hellsten Sternen scharf stellen. Leider erzielen Sie bei Mondschein unter Stadtbedingungen keinen wirklich guten Kontrast, da der Staub in der Atmosphäre auch das vom Mond reflektierte H-Alpha- und OIII-Sonnenlicht streut – Wunder kann kein Filter vollbringen. <<

Mark Achterberg beschreibt im nächsten Heft die Optimierung der Rohbilder und die anschließende Bildbearbeitung am Computer.



Guillaume Cannat und Didier Jamet

Jupiter und Saturn
Die schönsten Bilder der Raumsonden Galileo und Cassini

Delius Klasing Verlag, Bielefeld 2007
120 Seiten, 78 Farb- und 58 Schwarz-Weiß-Fotos
53 Abbildungen
ISBN 9783768818773
22,–€

Alle rezensierten Bücher (außer auf S. 77), CD-ROMs und DVDs können Sie in unserem Science-Shop bestellen.

Internet: www.science-shop.de
per E-Mail: shop@wissenschaft-online.de
telefonisch: 06221 9126-841
per Fax: 06221 9126-869

Bilder von fremden Welten

Vor einiger Zeit wurde ich gefragt, warum wir noch immer Geld in die Weltraumforschung stecken – wir wüssten doch schon alles Nötige. Darauf gibt es viele Antworten, aber die schönsten geben uns die Teleskope und Raumsonden, die Bilder jener geheimnisvoller Welten liefern, die gemeinsam mit der Erde unsere Sonne umkreisen.

Die Aufnahmen zweier dieser Sonden, die seit einigen Jahren die beiden größten Mitglieder des Planetensystems und ihre Monde erkunden, präsentieren Guillaume Cannat und Didier Jamet in diesem prächtigen Buch. Natürlich sind alle Bilder, die Galileo vom Jupiter und Cassini vom Saturn bislang übermittelten, auch im Internet abrufbar, aber ihre volle Wirkung entfalten sie erst, wenn man sie großformatig gedruckt sieht.

Ein gutes Buch beschränkt sich jedoch nicht nur auf beeindruckende Aufnahmen, sondern erklärt sie auch. Diese Aufgabe erfüllen die liebevoll geschriebenen Begleittexte, die den Leser auf den neuesten Stand bringen, ohne Vorkenntnisse vorauszusetzen oder jemals langweilig zu werden. Positiv ist, dass die Autoren auch nicht vergessen zu erwähnen, ob und wie die Bilder bearbeitet wurden – schließlich geben nur wenige Aufnahmen exakt den Anblick wieder, den ein Beobachter vor Ort hätte.

Damit gestattet dieses Werk einen aktuellen und faszinierenden Blick auf unsere Nachbarwelten und ist für all diejenigen eine Augenweide, die Interesse am Sonnensystem haben. Die Bilder dieses Bands zeigen einmal mehr, warum unsere kosmischen Nachbarn uns immer wieder in ihren Bann ziehen.

>> Alexander Kerste

Kinder ins All

Susanne Dambeck, Thorsten Dambeck

Raumfahrt
Aufbruch ins All
Kosmos-Verlag, Stuttgart 2007
64 Seiten, über 150 Fotos
ISBN 9783440108024
12,95 €
Für Kinder ab 9 Jahren

Wie interessiert man Kinder für Raumfahrt? Indem man Geschichten darüber erzählt. Susanne und Thorsten Dambeck tun genau dies. Es sind Geschichten von kleinen Schimpansenkindern, die sich auf einen Raumflug vorbereiten, vom Alltag auf der Internationalen Raumstation ISS, von Kindern, die in Zukunft einmal zum Mars fliegen oder eine dauerhafte Station auf dem Mond errichten werden.

Die Kleinen erfahren, dass es auf der ISS nur zwei Kojen gibt, aber in der Regel drei Besatzungsmitglieder, und dass der dritte sich stets selbst irgendwo einen Schlafplatz suchen muss, dass dort jeder Sport treiben und sich auf der Toilette festschnallen muss.

In zumeist kindgerechter Sprache erzählen die Autoren viele Storys rund um das große Abenteuer Raumfahrt. Dabei schildern sie die Geschichte der Raumflüge – von der ersten Erdumkreisung Juri Gagarins über die Apollo-Missionen bis zu den Spaceshuttle-Einsätzen und den heutigen Mars- und Saturnmissionen. Auch die Suche nach Ufos und Aliens kommt zur Sprache.

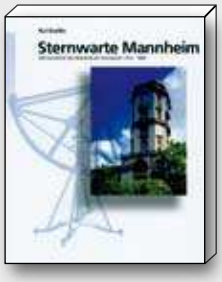
Sie beantworten Fragen, die Kindern unter den Nägeln brennen, etwa welche Voraussetzungen ein Astronaut mitbringen muss. Großflächige, bunte Bilder illustrieren die Erzählungen, eine Zeitleiste vermittelt einen Überblick über die Geschichte der Raumfahrt, und im Kapitel »Kurioses« erfahren die Kleinen, dass ein Kind damals den Namen »Pluto« für den neunten Planeten vorgeschlagen hat.

Im Abschnitt »Frauen im All« lernen Mädchen, dass die Raumfahrt keineswegs nur eine reine Männerdomäne ist und dass auch Frauen als Astronauten arbeiten können.

Kleiner Wermutstropfen: Nicht alle Fachbegriffe – etwa Hitzeschutzschild oder Teleskopspiegel – werden erklärt. Fazit: Kein Technikbuch, das Einzelheiten erläutert oder umfassende Daten und Fakten liefert, aber ein buntes Bilderbuch mit vielen spannenden Geschichten, die begeistern.

>> Stephanie Hügler

= bedingt empfehlenswert
= empfehlenswert
= sehr empfehlenswert



Kai Budde

Sternwarte Mannheim
Die Geschichte der Mannheimer Sternwarte 1772–1880
(Nr. 12 der Schriften des Landesmuseums für Technik und Arbeit)
Verlag Regionalkultur, Heidelberg 2006
200 Seiten mit 76 meist farbigen Abbildungen
ISBN 9783897354739
17,90 €

Alexander Moutchnik

Der Naturwissenschaftler und Universitätsprofessor Christian Mayer SJ (1719–1783)
Forschung und Lehre in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts

Dr. Erwin Rauner Verlag, Augsburg 2006, 523 Seiten
ISBN 3936905169
27,50 €

Zeitreise in vergangene Jahrhunderte

Diese zwei Werke unterscheiden sich deutlich von den Titeln, die wir normalerweise auf diesen Seiten präsentieren. Denn es geht in beiden in erster Linie um Geschichte, nämlich die der historischen Sternwarte in Mannheim und die ihres ersten Astronomen Christian Mayer.

Es war im Jahr 1752, als der vielseitig ausgebildete und an naturwissenschaftlichen Dingen lebhaft interessierte Kurfürst Karl Theodor den Jesuiten Mayer auf den neu geschaffenen Lehrstuhl für Experimentalphysik an der Universität Heidelberg berief. Mayer widmete sich alsbald der Astronomie und erhielt im Juni 1761 die Gelegenheit, seinem obersten Dienstherrn in dessen Sommerresidenz, dem Schwetzinger Schloss, den in diesem Jahr stattfindenden Venustransit zu zeigen (AH Juni 2004, S. 24 und AH September 2004, S. 16). Auch wenn die dabei entstandenen Messungen den zuvor bekannten Wert der Entfernung Erde-Sonne nicht präzisieren konnten, waren sie dennoch ein Erfolg für die Astronomie der Kurpfalz. Denn der Fürst genehmigte daraufhin den Bau einer Sternwarte. Diese bestand zunächst aus einem hölzernen Turmbau auf dem Schwetzinger Schloss. Schon bald nach ihrer Fertigstellung im Jahr 1764 war die Sternwarte aber schon wieder zu klein. Die Instrumente, die Mayer erwarb, konnten kaum noch darin untergebracht werden.

Der Astronom überzeugte Karl Theodor 1772, eine neue, größere Sternwarte in unmittelbarer Nähe der kurfürstlichen Residenz in Mannheim zu errichten. 1775 konnte er in den achteckigen Turm einziehen. In der Folgezeit machte sich Mayer insbesondere mit der Erforschung der Doppelsterne einen Namen, die er als Erster als solche erkannte.

Beide Bücher sind mehr historische Faktensammlungen denn Astronomie- oder gar Lesebücher. Beide Autoren haben unzählige Quellen ausgewertet, was insbesondere beim Werk von Moutchnik – einer Dissertation an der Philosophischen Fakultät der Heidelberger Universität – sehr viel Raum bei den Nachweisen und Fußzeilen einnimmt. Die astronomische Forschung der Zeitgenossen von Mayer und seinen Nachfolgern kommt dagegen zu kurz. Zwar tauchen viele bekannte Namen wie Lacaille, Maskelyne, oder Herschel auf. Der Leser erfährt aber meist recht wenig über die bahnbrechenden Arbeiten der jeweiligen Epoche. Auch Einzelheiten über die Beobachtungstechniken der Kurpfälzer Astronomen oder die Funktionsweise der damaligen Instrumente werden nur gestreift. Bei zahlreichen Angaben fallen in beiden Büchern Verwechslungen von Bogensekunden und Bogenminuten auf. Somit sind sie eher jenen zu empfehlen, die sich für das Leben und die Geschichte der Astronomen interessieren.

>> Oliver Dreissigacker

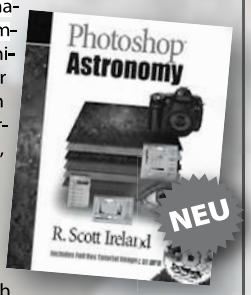
Atlas der Messier-Objekte

Eine gelungene Mischung aus Beobachtungshilfe und Bildband. Das großzügige Format und die aufwändige optische Gestaltung machen die Lektüre zu einem echten Genuss! Eine derartig umfangreiche und vollständige Darstellung zu den Messier-Objekten hat es bisher in deutscher Sprache noch nicht gegeben. Die Beschreibung zu den Objekten gliedern sich in die Abschnitte Historie, Astrophysik und Beobachtung. Gleichgültig ob das Interesse eher historisch, theoretisch oder praktisch ausgerichtet ist, kommt jeder mit diesem Buch auf seine Kosten.

€ 59,90

Photoshop Astronomy

Der Autor arbeitet seit fast 10 Jahren mit Photoshop, um seine Astrofotos zu bearbeiten. Die dabei gemachten Erfahrungen hat er in diesem speziell auf die Bedürfnisse des Amateurastronomen zugeschnittenen Buch gesammelt. Die behandelten Themen sind unter anderem: die technische Ausstattung, Farbmanagement, Histogramme, Maskierungstechniken, Addition mehrerer Bilder, Korrektur von Vignettierungen, korrektur von Farbhalos, Deformationen oder überbelichteten Sternen, LRGB und vieles mehr. Auf der beigefügten DVD befinden sich alle im Buch besprochenen und verwendeten Beispielbilder.



€ 39,90

Astronomik UHC-E

Diese neue Variante des UHC-Filters ist eine günstige Ergänzung unseres Angebotes. Gegenüber dem Profi UHC-Filter ist die Halbwertsbreite etwas größer, die Transmission etwas geringer (typisch 94% gegen 98%). Dadurch liefert etwas weniger kontrastreiche Bilder an größeren Fernrohren. Durch seine Eigenschaften können wir den UHC-E-Filter als preiswerte Alternative für Geräte bis 15cm Öffnung empfehlen.

ab € 65,00

astro-shop
Eiffestr. 426 • 20537Hamburg
Telefon 040 / 511 43 48 • FAX 040 / 511 45 94
www.astro-shop.com/ahoi

TV-PROGRAMM

Mittwoch, 16. Mai

Was Einstein noch nicht wusste
Das Rätsel des Universums (1/3)
Die dreiteilige Serie beschäftigt sich mit der Suche nach der »Weltformel«
RBB, 16.15 Uhr

Donnerstag, 17. Mai

Mission Weltall –
Wie ein Raumschiff entsteht
Raumfahrt ist auch heute noch keine Routine. Diese Dokumentation zeigt den aktuellen Stand der Technik sowie die Hürden, die noch zu überwinden sind
N24, 14.05 Uhr
Wdh. am 18. 5. um 11.05 Uhr

Kosmische Superbomben –
Asteroiden auf Erdkurs
Ein Asteroideneinschlag könnte die ganze Menschheit auslöschen. Die Frage ist nicht ob, sondern wann die nächste Kollision mit einem Himmelskörper stattfindet
3sat, 0.10 Uhr

Freitag, 18. Mai

Columbia –
Schicksal einer Raumfähre
Am 12. April 1981 startete die »Columbia« als erster Spaceshuttle ins All. Nach 27 weiteren Flügen brach der Orbiter am 1. Februar 2003 beim Wiedereintritt in die Atmosphäre auseinander. Alle sieben Astronauten kamen dabei ums Leben
N24, 18.05 Uhr

Mittwoch, 23. Mai

Was Einstein noch nicht wusste
Das Rätsel des Universums (2/3)
Der zweite Teil der Reihe stellt die Relativitätstheorie und die Quantenmechanik vor
RBB, 16.15 Uhr

Montag, 28. Mai

Herr der Himmelsscheibe
Mehr als dreieinhalbtausend Jahre lang lag eine Weltsensation im lehmigen Waldboden des Mittelbergs in Sachsen-Anhalt. Die »Himmelsscheibe von Nebra« wurde von Menschen hergestellt, die erstaunliche astronomische Kenntnisse hatten
ZDF, 19.15 Uhr

Mittwoch, 30. Mai

Was Einstein noch nicht wusste
Das Rätsel des Universums (3/3)
Der weltweit größte Teilchenbeschleuniger im Kernforschungszentrum Cern könnte bei der Suche nach der »Weltformel« helfen
RBB, 16.15 Uhr

Vor 30 Jahren –
Die Welt ist keine Maschine
Der Film porträtiert Isaac Newton (1643 – 1727), einen der größten Denker der Menschheit, der vor 250 Jahren starb
3sat, 0.25 Uhr

Auswahl aus dem Fernsehangebot zu Themen aus Astronomie und Raumfahrt der kommenden Wochen. Kurzfristige Programmänderungen sind möglich.

EVENTS

2. 6.: 1. ATV – AstroTechnik und Vereinstreff. Astromesse mit vielen Ausstellern und Zeiss-Fernrohrausstellung.
Veranstaltungsort: Vereinshaus der Schützengilde, Wahrenbrücker Straße, 04938 Uebigau
Kontakt: AstroTeam Elbe-Elster, Ralf Hofner, Walther-Rathenau-Str. 4 B, 04895 Falkenberg
Weitere Informationen: www.herzberger-teleskoptreffen.de, E-Mail: anfrage@herzberger-teleskoptreffen.de oder Tel. 0176 22837911

15. 6.–18. 6.: Südsternfreundetreffen in Namibia. Das erste Teleskoptreffen in Namibia findet am Brandberg statt. Weitere Informationen, auch zu vergünstigten Flügen, unter www.suedsternfreundetreffen.homepage.t-online.de

28. 7.–4. 8.: Space Camp »Mission Raumfahrt« im FEZ Berlin. Gespräch mit einem Astronauten, Starts von Modellraketen und Kosmonautentraining. Kosten: 150,– Euro. Infos und Kontakt: FEZ Berlin, Werner Bachmann, Tel. 030 53071538, E-Mail: orbitall@fez-berlin.de

28. 7.–11. 8.: Das Astronomische Sommerlager 2007 (ASL 2007) in Bischofsheim/Rhön bietet für Anfänger wie Fortgeschrittene zwischen 14 und 24 Jahren unter anderem Workshops und Vorträge.
Infoheft und Anmeldung:
www.vega-astro.de

29. 7.–18. 8.: 43rd International Astronomical Youth Camp. Drei Wochen lang können Jugendliche aus rund zwanzig Ländern in Tremesek in der Tschechischen Republik astronomische Themen erarbeiten. Info-Broschüre und weitere Informationen sowie Anmeldung im Internet unter www.iayc.org oder per E-Mail an: info@iayc.org

Noch bis 12. 8.: Mars in 3-D. Zwei Monate länger als geplant zeigt das Planetarium Laupheim das Programm über den Roten Planeten, bei dem eine Stereoprojektion völlig neue Ansichten ermöglicht.
Öffnungszeiten und Anmeldung: Planetarium Laupheim, Milchstraße 1, 88471 Laupheim, www.planetarium-laupheim.de oder Tel. 07392 91059

6.–9. 9.: 6. Teleskoptreffen Mirasteilas. Als Höhepunkt der diesjährigen Veranstaltung können die Teilnehmer die neu eingeweihte größte Volkssternwarte der Schweiz besuchen.
Ort: Falera, Graubünden, Schweiz
Weitere Informationen, auch zu Übernachtungsmöglichkeiten, im Internet unter www.mirasteilas.net oder per E-Mail an: teleskoptreffen@mirasteilas.net

Auch Ihr Termin kann hier kostenlos stehen! Für die Juli / August-Ausgabe schicken Sie spätestens bis zum 15. Mai 2007 eine E-Mail an:
redaktion@astronomie-heute.de

PREISRÄTSEL

Gewinnen Sie ein Fernrohr!

Wählen Sie bis zum 15. 6. 2007 unter astronomie-heute.de/umfrage Ihre Favoriten unter den AH-Titelbildern des letzten Jahres. Unter allen Teilnehmern verlosen wir folgende Sachpreise (der Rechtsweg ist ausgeschlossen):

1. Preis: Bresser Sirius 70/900 Achromatischer Refraktor mit umfangreichem Zubehör im Wert von 99 € (Abbildung rechts; meade.de)

2. Preis: »Atlas der Sternbilder« von Eckhard Slawik und Uwe Reichert, 212 Seiten. Spektrum Akad. Verl., 2004 (elsevier.de), Wert: 50 €

3. Preis: »Mission Mond« 3-D-Mondatlas auf zwei CD-ROMs für Windows 95 oder neuer. Navigo/USM, 2003 (usm.de). Wert: 29,90 €

4. & 5. Preis: »Space Odyssey« Wie sähe es aus, wenn Astronauten die anderen Planeten unseres Sonnensystems besuchen könnten? BBC-Doku auf DVD, 114 Minuten mit 80 Minuten Bonusmaterial, Polyband (polyband.de). Wert: 17,99 €

Lösung des Preisrätsels im April-Heft

CASSINI – Forschungssonde am Saturn

Gewinner: Hartmut Radke, Dresden (»Starry Night pro plus«); Florian Müller, Börsborn; Achim Mester, Aachen (je ein »Redshift Planetarium«); Heidrun Sanke, Zeitz; Roland D. Weidemann, Oberschleißheim (je eine DVD »Die Sonne – der Mond«). Herzlichen Glückwunsch!

1.					C	O	R		L	E	O	N	I	S
2.					A	K	T	U	A	T	O	R		
3.				K	R	E	B	S						
4.	A	L	B	A	T	E	G	N	I	U	S			
5.					B	I	O	L	A	B				
6.	T	U	N	N	E	L	E	F	F	E	K	T		
7.					K	I	J	K	E	R				

Lösung des AH-Superrätsels im April-Heft

ARES – kommende Trägerraketen der Nasa

Gewinner des Baader-Okularsets im Wert von 699 €:
Eberhard Kohrs, Delbrück. Herzlichen Glückwunsch!

					C	A	S	S	I	N	I	
					R	E	G	U	L	U	S	
	A	E	R	O	G	E	L					
H	Y	G	I	N	U	S						

PRIVATE KLEINANZEIGEN

Stativ mit Alu-Profil für Meade LXD 55 Gebrauchtspuren, aber keine Beschädigungen. Preis: 50,– Euro. Bei Lieferung zzgl. Lieferkosten. Tel.: 06421 913915, franz.langstein@st-johannes-marburg.de

Vixen Super Polaris 102M Refraktor, 102 mm, f = 1000 mm, Tubus mit Taukappe, Sucher 6-fach, Zenitprisma, drei Okulare (H.M.12,5mm, K. 20mm, Or. 5mm), Super Polaris Montierung DX (manuelle Feinbewegung in beiden Achsen, beleuchteter Polsucher), Alustativ 150 cm, Anleitung, absolut neuw., unbenutzt, bitte um Gebote, OP ca. 2000 DM, Raum Augsburg, Versand möglich. arno.scholz@arcor.de

Meade LX 200 10 Zoll mit Superpolhöhenwiege, Telrad, Stativ, Goto-Funktion, sehr guter Zustand wegen Systemwechsel abzugeben. 2150 Euro. Trinkler Paul, Tel.: 0171 8505301, p.trinkler@web.de

Vixen 150 Newton 150 mm Öffnung und 750 mm Brennweite, (f/5). Mit komplettem Zubehör, also GP Monierung und Stativ (Alu), 1¼ Zoll Okularauszug, 6×30 Sucherfernrohr uvm. Zwei Vixen LV-Okulare 5 und 20 mm. Absolut neuwertig, da kaum benutzt. Keine Gerbrauchsspuren / Schäden! 600 Euro VB. Rhein-Main-Gebiet. Christian Stalp, Tel.: 0178 1484693, christian.stalp@gmx.de

Amateur-Astro-Kamera 56/250 von Carl Zeiss Jena mit Zubehör und in ausgezeichnetem Zustand an Liebhaber abzugeben.
Zubehör: Mattscheibe, 2 Planfilmkassetten, 1 Adapter für Montage an parallaktische Montierung 1b, Holzkiste. Preis auf Anfrage. Tel.: 038204 72967, gert.warncke@uni-rostock.de

SBIG CCD-Kamera ST-2000 XCM absolut neuwertig, (bisher nicht verwendet), VB 2200,– Euro; verkaufe ALT-Montierung 6-ADN mit ESCAP-Motoren, elektronischer Steuerung auf beiden Achsen; Interface-Karte u. SKY-Link Software zur Positioniering, diverse Gegengewichte, VB 7800,– Euro. Tel.: 02224 978 417, ST_ST@t-online.de

Amateur-Fernrohr 80/1200 Refraktor von Carl Zeiss Jena mit Zubehör und in ausgezeichnetem Zustand an Liebhaber abzugeben. Zubehör: parallaktische Montierung 1b auf Säulenstativ, Okulare (6 mm-O, 10 mm-O, 16 mm-H, , 40 mm-H), Okularsteckhülse, Okularprisma, Oberflächenspiegel 1,3fach, Sucherfernrohr 7,5fach, Holzkiste. Preis auf Anfrage. Tel.: 038204 72967, gert.warncke@uni-rostock.de

Amateur-Spiegelteleskop 150/2250 „Meniscas" Maksutov-Cassegrain 150/2250 mm von Carl Zeiss Jena mit komplettem Zubehör und in ausgezeichnetem Zustand an Liebhaber abzugeben. Zubehör: parallaktische Montierung 1b auf Säulenstativ, Okulare (6 mm-O, 10 mm-O, 16 mm-O, 25 mm-O, 40 mm-H), Sucherfernrohr 7,5fach, Holzkiste, Okularrevolver 5fach, Sonnenblendglas, Objektiv-Sonnenfilter, Mars- und Mondglas. Preis auf Anfrage. Tel.: 038204 72967, gert.warncke@uni-rostock.de

C8 Professional Celestron 8, Suchfernrohr 8×50, Super Polaris DX, R.A. – Decl.-Motor, Skysensor 3, Holzstativ, Taukappe, 2- u. 1¼-Zoll-Zenitspiegel, Meade Super WA 32 mm u. Super Plössl 56 mm Muli-Coated; Reduzierungsadapter auf 1¼ Zoll, Okulare: Vixen 5 mm Plössl, Vixen 15mm Plössl, Baader Eudiascopic 20 mm u. 7,5 mm, Celestron 30 mm Plössl. Celestron Polarizing Filterset 1¼ Zoll, Sky Guide Atlas (Laminat). VB 1900 Euro. Bilder per E-Mail. Selbstabholer: Lübeck. Tel: 0151 16017500. astro@email.de

Deutsche Montierung schwer aber noch transportabel, passend für 300 mm Spiegel oder 200 mm Refraktor. VS, gegen Gebot. Tel.: 0160 365 87 11

SuW Jg.: 1990 - 2005 ungeb., an jungen Sternfreund abzugeben. Selbstabholer. Tel.: 02742 723888

Astrobauteile Zerodurspiegel 270 mm, f =1500 mm, Fangsp. und Rohr; Halbapo 90 mm, f = 1640 mm, und Alurohr; Astrookulare f = 8 bis 40 div. Astroteile; Teile einwandfrei und preisgünstig. Tel.: 02620 793

Vixen Aluminiumstativ HAL 110 (für GP-/GP-DX-Montierungen), wenig gebr., Preis: VB 220 €. Tel.: 02236 63423, Korff-Schmidt@gmx.de

Olympus OM-2 Klassische Astrofotografie-Kamera, manuelle und autom. Belichtung. Kameragehäuse, Tokina 500 mm Tele, Zuiko 28 mm Weitwinkel, Olympus T20 Flash, Fernauslöser, Astrofotografie Fokusier-Screen, Tasche. VP 300,– + Versand. space@kronenberg.aero

Newton Reflektor 150 / 900 mm, Refraktor 60 / 910 mm, zusammen, mit Schellen. Div. Okulare, Kameraadapter, el. Nachführung, stabile hydraulisch verstellbare Säule. VHB. 1700,– Euro. Tel.: 06731 6579

Stellengesuch! Versierter Amateurastronom mit reicher beruflicher Erfahrung in Marketing, Vertrieb & Kundenberatung sucht neue Aufgabe. Bewerbungsunterlagen werden interessierten Firmen der Astronomie-Branche oder Planetarien & Sternwarten gerne zugesandt. Tel.: 0234 682953, wq1@gmx.de

Neckel/Vehrenberg: „Atlas Galaktischer Nebel" drei Bände in neuwertigem Zustand. Preis 156,– Euro inkl. Versand. Tel.: 0851 7561624, j-schaller@web.de

PaMont Ib von Carl Zeiss Jena mit mehreren Original Zeiss-Gegengewichten, Holz-Aufbewahrungsbehälter, dazu Zeiss-Holzstativ 3 VS. Alles im perfekten Zustand ohne Gebrauchsspuren (außer eine Feststellschraube am Stativ defekt). 1990 Euro an Selbstabholer. Tel.: 0160 97420241, Elmar.Remmert@t-online.de

Magazine Star Observer: Jahrgang 2002, Heft-Nr. 6-12 (6 Hefte). Preis 5 Euro zzgl. Versand. Jahrgang 2003, Heft-Nr. 1-6 (5 Hefte). Preis: 5 Euro zzgl. Versand. ASTRONOMIE HEUTE Hefte 3/2004-11/2004. Preis: 5 Euro zzgl. Versand. Ausgaben 01/2006-12/2006 (10 Hefte). Preis: 10 Euro zzgl. Versand. Klaus Euler
Tel.: 06184 7639

Newton Reflektoren und Zubehör 150/900 mm, Refraktor 60/910 mm, zusammen, mit Schellen. Diverse Okulare, Kameraadapter, el. Nachführung, stabile hydraulisch verstellbare Säule. VHB. 1700,– Euro. Tel.: 06731 6579

Meade LX200, 10 Zoll f/10 Schmidt-Cassegrain und Grundausstattung und Okular: 26 / 20 / 12 / 7 mm, 4000 Ultra-Wide-Angle 8-linsig 14 mm. Wenig gebraucht! 2 000,– Euro. Tel.: +43 6766001200, piximaus@chello.at

Suche Kontakt zu Sternfreunden in Leipzig. Teleskop und Fotoausstattung vorhanden. u.eisenecker@freenet.de

Russentonne 100 mm Öffnung inklusive Zubehör. VH 220,– Euro. Tel.: 03302 200971

Celestron C14 Baujahr 98 in original Überseekiste (USA made), auf dt. Montierung Parallax Centaurus und GoTo Mini Max Losmandy Steuerung, Alu Säule nicht benutzt. Tel.: 09868 332

Vixen 200 mm Cassegrain/Maksutow VCM200L in neuwertigem Zustand, Vixen Stativaufname, 20 mm Okular, OVP (stabiler Doppelkarton). Das Gerät ist sehr wenig gebraucht, da es im Schatten eines 12 Zoll stand. Inkl. Versand 1080,– Euro. Sehr guter Apo-Refraktor (Fluor) 90 mm F7 Triplet, scharf, schöner Alubau, 2-Zoll-Aufnahme für Bino plus 90-Grad-Spiegel, farbige Sterne und Nebel fallen ins Auge, 880,– Euro. Gleich gutes 130 mm Apo-F7-Objektiv wird erwartet, Aus-

Private Kleinanzeigen mit bis zu fünf Zeilen für Abonnenten von ASTRONOMIE HEUTE kostenlos!

ASTRONOMIE HEUTE-Abonnenten können eine private Kleinanzeige pro Ausgabe mit bis zu fünf Zeilen à 40 Anschläge kostenlos schalten. Jede weitere Zeile kostet für Abonnenten 5,–€. Geben Sie bitte bei Einsendung von Kleinanzeigen stets Ihre Kundennummer an. Diese entnehmen Sie Ihrer Rechnung oder dem Adressträgerblatt.

Für Nichtabonnenten gelten folgende Preise:

bis zu drei Zeilen: 22,–€, jede weitere Zeile: 5,–€

Die Veröffentlichung im Internet ist auch für Nichtabonnenten kostenlos.

Bitte beachten Sie: Ist der verfügbare Platz in einer Ausgabe vergeben, behält sich die Redaktion das Recht vor, später eintreffende Anzeigen in die nächstverfügbare Ausgabe zu verschieben. Eine Zeile enthält durchschnittlich vierzig Zeichen. Alle Preise zuzüglich gesetzlicher Mehrwertsteuer. Die Grundgebühr pro Anzeige ist bereits eingerechnet. Gleichzeitig erhalten Sie einen Eintrag in unserer Online-Kleinanzeigendatenbank für die Verkaufsdauer des jeweiligen Hefts.

Bitte geben Sie Ihre Kleinanzeige im Internet ein unter www.astronomie-heute.de/kleinanzeigen **oder senden Sie sie wie gewohnt an:**

Spektrum der Wissenschaft
Redaktion ASTRONOMIE HEUTE
Slevogtstr. 3–5, 69126 Heidelberg
Fax: 06221 9126-769
E-Mail: kleinanzeigen@astronomie-heute.de

Der Einsendeschluss ist vier Wochen vor Erscheinen des Hefts.

2. Internationale Astronomie-Messe AME2007

Erneut mit zahlreichen Ausstellern aus dem In- und Ausland und einem attraktiven Rahmenprogramm.

Wann? 22. September 2007
Wo? 78054 VS-Schwenningen, Messegelände, 6000 kostenlose Parkplätze vor Ort.
Fragen? Tel.: 0741 2706210, E-Mail: info@astro-messe.de

www.astro-messe.de

SATTLEGGERs ALPENHOF EMBERGER ALM

ASTROURLAUB und ASTROKURS!
Zwei gut ausgestattete Sternwarten (12" + 17,5") auf 1.800m Seehöhe und ein perfekter Sternhimmel erwarten Sie. Infos zum Kursangebot sehen auf unserer Homepage.

Sattleggers Alpenhof und Feriensternwarte Emberger Alm 2, 9771 Berg/Drautal, Österreich
Tel.: +43/4712/796, Fax: +43/4712/796-6
www.alpsat.at, mail: office@alpsat.at

ITT (Internat. Teleskoptreffen): 5.10. - 7.10.2007 Buchen Sie rechtzeitig!

INFORMATIONEN: Karin Schmidt, E-Mail: schmidt@spektrum.com

bau möglich. Interesse? Tel.: 07583 375469, tra.ga.mon@web.de

SC Teleskop Celestron C11 sehr guter Zustand, mit Originalkoffer, Preis VHB. Tel.: 0170 1971384, nathalie.lammers@freenet.de

Meade 10-Zoll-LX200 classic (sehr gute Optik), Zubehör: Transporttasche, Sucher 8×50, Focal Reducer f/6,52; elektr. Fokussiermotor, Fokaladapter, 2-Zoll-Zenitspiegel, Tele-Extender, 3,6 Zoll Anschlussadapter mit t2-Gew. für CCD-Kameras (Spezialanfertigung Neupreis 1500,– DM), 12-18 Volt-Konverter, Okulare: 26 mm, 18 mm SWA, 13,8 mm SWA; komplett 3000,– Euro VHB. Tel.: 07661 907399

Sterne und Weltraum (SuW) / ASTRONOMIE HEUTE (AH) Hefte alle sind gut erhalten und stecken voller Wissen, welches endeckt werden will. SuW – Jg. 1991: Nummer 7 (Juli). Jg. 1996: Nummern 5-12 (Mai-Dezember). Jg. 1997-2002: Nummer 1-11 Januar-Dezember. August, September '97-'98 ein Heft; Juni, Juli '99 ein Heft; Februar, März 2000 ein Heft; April, Mai '01 ein Heft; September, Oktober '02 ein Heft. Jahrgänge '03-'07: alle 12 Hefte pro Jahr. 2007 nur bis März. AH – Nummer 7/8, 9/10 '03; 4, 5 '05, 5 '06. Für alle Hefte hätte ich gerne 40 Euro. Thomas Rosin, bananajunkey@gmx.de

VORSCHAU

Atlanten der Dunkelheit

Edward Emerson Barnard fertigte vor hundert Jahren Fotografien der Milchstraße an, die uns heute immer noch faszinieren. Entdecken Sie mit uns Barnards Dunkelwolken!

S & T, C. M. UTTER

AH / EMDE-GRAFIK

Star unter den Planeten …

… ist Jupiter, der größte Wandelstern des Sonnensystems. Lunic und Sonja erkunden seinen Großen Roten Fleck und seine zahlreichen Monde

PHOCASSO, JOHN W. WHITE / N. & C. KANAS

Flamsteeds Vermächtnis

Dem ersten »Astronomer Royal« des englischen Königshofs verdanken wir viele Grundlagen der heute gebräuchlichen Sternkarten

S & T, SEAN WALKER

Sonnenfotos

Mit einem speziellen Teleskop und einer Digitalkamera ist es ein Leichtes, tolle Aufnahmen unseres Tagsterns zu schießen!

IMPRESSUM

Chefredakteur: Dr. Jakob Staude (v.i.S.d.P.)
Redaktion: Dr. Oliver Dreissigacker (Ltg., Chef vom Dienst), Stephan Fichtner, Maike Pollmann (freie Mitarbeit)
Ständige Mitarbeit: Stephanie Hügler, Alexander Kerste, Dr. Monika Maintz, Dr. Frank Schubert
Artdirector/Layout: Karsten Kramarczik
Layout: Marc Grove
Schlussredaktion: Katharina Werle (Ltg.), Christina Peiberg (stv. Ltg.), Sigrid Spies
Bildredaktion: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe
Mitarbeit an diesem Heft: Clemens Bayer, Dr. Achim Schneider, Stefan Seip, Dr. Sven Titz
Redaktionsassistenz: Britta Feuerstein
Redaktionsanschrift: Postfach 10 48 40, 69038 Heidelberg, Tel.: 06221 9126-765, Fax: 06221 9126-769, E-Mail: redaktion@astronomie-heute.de
Herstellung: Natalie Schäfer, Tel.: 06221 9126-733
Einzelverkauf: Anke Walter (Ltg.), Tel.: 06221 9126-744
Marketing: Annette Baumbusch (Ltg.), Tel.: 06221 9126-741, E-Mail: service@spektrum.com
Leserservice: Tel.: 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.com
Geschäftsleitung: Markus Bossle, Thomas Bleck

Verlagsleiter: Dr. Carsten Könneker
Objektleiter Astronomie: Stephan Fichtner
Verlag: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 10 48 40, 69038 Heidelberg; Hausanschrift: Slevogtstraße 3–5, 69126 Heidelberg, Tel.: 06221 9126-600, Fax: 06221 9126-751, Amtsgericht Mannheim, HRB 338114
Vertrieb und Abonnementverwaltung: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, c/o ZENIT Pressevertrieb GmbH, Postfach 81 06 80, 70523 Stuttgart, Tel.: 0711 7252-192, Fax: 0711 7252-366, E-Mail: spektrum@zenit-presse.de, Vertretungsberechtigter: Uwe Bronn
Bezugspreise: Einzelheft: € 6,50, Jahresabonnement Inland (10 Ausgaben): € 56,–, Jahresabonnement Ausland: € 61,–, Jahresabonnement ermäßigt Inland (gegen Schüler- oder Studentennachweis): € 50,–, Jahresabonnement ermäßigt Ausland (gegen Schüler- oder Studentennachweis): € 55,–. Zahlung sofort nach Rechnungserhalt. Konto: 22 706 708, Postbank Stuttgart (BLZ 600 100 70).
Die Mitglieder der Vereinigung der Sternfreunde e. V. (VdS) erhalten ASTRONOMIE HEUTE zum gesonderten Mitgliedsbezugspreis.
Anzeigen/Druckunterlagen: VMS Limperg Verlags- & MedienService, Sudetenstraße 16, 63486 Bruchköbel, Tel.: 06181 729-04, Fax: 06181 729-84, E-Mail: f.limperg@limperg.de
Anzeigenpreise: Zurzeit gilt die Preisliste Nr. 4 vom 1. November 2005.
Gesamtherstellung: L.N. Schaffrath Druck Medien Gmbh & Co. KG, 47608 Geldern

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2007 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

ISSN 1610-8728, www.astronomie-heute.de

Sky & Telescope (S & T) und Night Sky: New Track Media LLC, 90 Sherman St., Cambridge, MA 02140, USA; President: Joel Toner; Editor in Chief: Richard Tresch Fienberg, Ph.D. Die Übersichts- und Ausschnittssternkarten von ASTRONOMIE HEUTE wurden mit Software und Designelementen von Roger W. Sinnott und Steven Simpson erstellt.

Wir übernehmen keine Haftung für die Inhalte externer Webseiten. Für den Inhalt der angegebenen Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich.